



Escuela de Ingeniería y  
Arquitectura

Universidad de Zaragoza



---

## **Tareas complementarias al desarrollo de tecnologías de fabricación por adición de capas**

---

Ingeniería técnica industrial mecánica

Ignacio Pons Rivas

Septiembre 2012

Dirigido por: Carlos Cajal Hernando  
Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación



# Índice

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.2. ÁMBITO .....	4
1.3. ALCANCE.....	4
<b>2. PLANIFICACIÓN .....</b>	<b>5</b>
2.1. LISTADO DE TAREAS .....	5
2.2. CRONOGRAMA DIVIDIDO POR MESES .....	7
<b>3. TECNOLOGÍAS DE FABRICACIÓN POR ADICIÓN DE CAPAS (LMT).....</b>	<b>10</b>
3.1. INTRODUCCIÓN:.....	10
3.2. HISTORIA:.....	11
3.3. ETAPAS DEL PROCESO.....	13
3.3.1. Modelado CAD .....	16
3.3.2. Conversión de datos.....	16
3.3.3. Comprobación y preparación.....	17
3.3.4. Construcción de la pieza por adición de capas. ....	24
3.3.5. Post-procesos.....	25
3.4. VENTAJAS DE LA FABRICACIÓN POR CAPAS .....	26
3.5. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE FABRICACIÓN POR CAPAS: .....	26
3.5.1. Rapid Prototyping (RP) .....	26
3.5.2. Rapid Tooling (RT) .....	27
3.5.3. Rapid Manufacturing (RM).....	27
3.6. PRINCIPALES PROCESOS DE FABRICACIÓN POR CAPAS.....	27
3.6.1. Sinterizado en lecho de polvo. ....	28
3.6.1.1. Sinterización selectiva por láser (SLS).....	28
3.6.1.2. Sinterizado directo de metal por láser (DMLS).....	30
3.6.1.3. Fusión por haz de electrones (EBM) .....	31
3.6.1.4. Proyección de aglutinante (DSPC).....	32
3.6.2. Fotopolimerización. ....	32
3.6.2.1. Estereolitografía (SLA).....	33
3.6.2.2. Fotopolimerización por UV (SGC) .....	34
3.6.3. Extrusión.....	35
3.6.3.1. Modelado por deposición de hilo fundido (FDM).....	35
3.6.4. Laminación. ....	36
3.6.4.1. Manufactura de objeto laminado (LOM).....	37
3.6.5. Impresión. ....	38
3.6.5.1. Impresión PolyJet (MJM).....	38
3.6.5.2. Prototipado rápido congelado (RFP) .....	40
3.6.2. Tablas comparativas de los principales procesos de fabricación por capas.....	40
<b>4. SOFTWARE UTILIZADO .....</b>	<b>42</b>
4.1. SOLID EDGE V20.....	42
4.2. POV-RAY Y STL2POV.....	43
4.2.1. POV-Ray.....	43
4.2.2. Stl2pov .....	44
4.2.3. De STL a Slices usando POV-Ray .....	44
4.3. FREESTEELPY .....	48



4.4. POINT CLOUD .....	53
4.5. MATERIALISE .....	54
4.5.1. <i>Minimagics 2.0</i> .....	54
4.5.2. <i>Geomagic Studio</i> .....	55
4.5.3. <i>Magics</i> .....	57
4.6. NETFABB STUDIO BASIC .....	58
4.7. MARCAM ENGINEERING .....	61
4.7.1. <i>VisCAM Mesh</i> .....	61
4.7.2. <i>VisCAM RP</i> .....	62
4.7.3. <i>InfinySlice</i> .....	65
<b>5. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO .....</b>	<b>66</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>68</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>73</b>



## 1. Introducción

El proyecto que se describe a continuación ha sido realizado por Ignacio Pons Rivas en colaboración con el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, perteneciente al Área de Procesos de fabricación, ubicado en el Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza, edificio Torres Quevedo. Este proyecto ha sido dirigido por el profesor del departamento Carlos Cajal Hernando.

### 1.1. Objetivos

El objetivo de este proyecto es el de complementar los estudios realizados por el Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación de la EUITZ sobre la máquina de prototipado rápido Objet 350 Eden. En primer lugar se ha realizado un estudio previo de las diversas tecnologías de fabricación por capas así como sus principales ventajas e inconvenientes y sus distintos campos de aplicación, para posteriormente, pasar a estudiar mediante distintos software la arquitectura interna de los archivos que definen la geometría de las piezas que generan estas máquinas, para encontrar la manera óptima de minimizar las desviaciones y errores inherentes a este tipo de procesos de producción, y más concretamente de la Objet Eden 350 V.

El trabajo realizado durante el transcurso del proyecto ha sido enfocado hacia cuatro objetivos principales:

- Investigación y recopilación de las prestaciones de las distintas tecnologías de fabricación por capas que podemos encontrar actualmente en el mercado.
- Investigación de las características de los distintos tipos de formato en los que importar los archivos con los datos de las geometrías a fabricar.
- Corrección de desviaciones y errores mediante el uso de software especializado, para controlar las transformaciones del archivo desde su exportación en CAD, pasando por su conversión a .STL y su posterior transformación a "slices" (rebanadas).
- Generación de modelos de dimensiones controladas para su posterior producción mediante el equipo Objet Eden 350 V para el



control de desviaciones en la geometría obtenida con respecto al modelo original.

## **1.2. Ámbito**

El ámbito de este proyecto se encuadra sobretudo en el área de la investigación y abarca campos desde la I+D de una oficina técnica que busque optimizar sus procesos de producción, hasta el departamento de una Universidad que estudie las características de dichos sistemas.

Si bien es cierto que este proyecto pudiera suponer una contribución didáctica por el trabajo de recopilación de información que se ha realizado en él, no hay que olvidar que las tecnologías objeto de estudio, están ligadas directamente con los departamentos de producción de las empresas, por lo que el ámbito del proyecto es principalmente empresarial.

## **1.3. Alcance**

El alcance de este proyecto está ligado al ámbito empresarial como se ha comentado con anterioridad, puesto que todo el trabajo realizado ha girado en torno a las tecnologías de fabricación por capas y la manera de mejorar los procesos que actualmente se están llevando a cabo en el manejo de estos dispositivos, con el objetivo de minimizar los errores en la producción y tener un mayor control dimensional, así como disminuir el tiempo y la complejidad de las distintas etapas del proceso de producción.



## 2. Planificación

Listado de tareas seguidas a lo largo del proyecto y cronograma en el que se especifican los intervalos de tiempo en los cuales éstas fueron realizadas:

### 2.1. Listado de tareas

- Tarea 1: Aprendizaje mediante tutoriales del manejo del programa de diseño 3D Solid Edge v20.
- Tarea 2: Generación de modelos 3D,
- Tarea 3: Extraer vistas y perspectivas de distintas piezas patrón con Solid Edge
- Tarea 4: Recopilar información de distintas tecnologías de fabricación por capas
- Tarea 5: Elaborar documento sobre distintas tecnologías de fabricación por capas.
- Tarea 6: Elaborar tabla comparativa de distintas tecnologías de fabricación por capas.
- Tarea 7: Investigar la arquitectura interna de los formatos utilizados por las máquinas de fabricación por capas
- Tarea 8: Búsqueda de software gratuito que permita la transformación de formatos STL a slices
- Tarea 9: Búsqueda de software gratuito para correcciones en el mallado de archivos STL
- Tarea 10: Utilización del programa POV-Ray para transformar STL a slices mediante el módulo stl2pov
- Tarea 11: Utilización del programa FreesteelPy tanto en su versión online como en la opción de descarga, para generar slices en formato .png
- Tarea 12: Uso del programa Geomagic Studio para la reparación de errores en el mallado de archivos STL
- Tarea 13: Utilización de Pointcloud para visualizar formatos basados en nubes de puntos
- Tarea 14: Uso del programa Netfabb Studio para visualizar slices controlando sus dimensiones
- Tarea 15: Uso de Magics para reparación de errores en el mallado y generar slices en distintos tipos de formato.



- Tarea 16: Utilización del software de la casa Marcam Engineering, los cuales han ayudado a facilitar y automatizar distintos pasos en los procesos de corrección de mallado en archivos STL y su posterior transformación en diversos formatos de slices.
- Tarea 17: Investigación sobre la historia y características de los diversos sistemas de fabricación por capas, los formatos que estas máquinas utilizan y los errores más frecuentes que aparecen en el proceso de producción.
- Tarea 18: Elaboración de un informe sobre la historia y características de los diversos sistemas de fabricación por capas, los formatos que estas máquinas utilizan y los errores más frecuentes que aparecen en el proceso de producción.
- Tarea 19: Elaboración de modelos con Solid Edge, para producirlos posteriormente con la máquina de SLA del departamento y medir desviaciones dimensionales.
- Tarea 20: Elaboración de la memoria y maquetado del proyecto.

Además de las tareas de aplicación directa en el proyecto descritas anteriormente, en siguiente cronograma, también se especifican las distintas reuniones mantenidas con el director del proyecto a lo largo del transcurso del mismo:

- Reunión 1: lunes 9 de Enero. Proposición y aceptación del proyecto en el campo de tecnologías fabricación por capas.
- Reunión 2: miércoles 15 de Febrero. Proposición informe tecnologías prototipado rápido
- Reunión 3: miércoles 14 Marzo: Nueva línea de investigación en la transformación de archivos en formato STL a slices.
- Reunión 4: jueves 12 Abril: Presentación y aceptación de informe y tabla comparativa. Puesta en común es cuanto a transformación en slices.
- Reunión 5: jueves 24 Mayo: Puesta en común transformación slices. Utilización del software Magics y Matlab para generación de nubes de puntos de sólidos 3D.
- Reunión 6: lunes 9 de Julio: Aprobación de los archivos entregados y trazar las líneas de la redacción de la memoria y entrega del proyecto.
- Reunión 7: martes 28 de Agosto: Repaso de aspectos formales previos al depósito de la memoria.
- Reunión 8: Lunes 3 de Septiembre: Depósito de memoria



## 2.2. Cronograma dividido por meses

<b>Enero</b>	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5
Lunes 9	Reunión 1				
Semana 1 (9-15)	x			x	
Semana 2 (16-22)	x	x	x		
Semana 3 (23-29)		x	x		

<b>Febrero</b>	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5
Semana 4 (30-5)					
Semana 5 (6-12)				x	
Miércoles 15	Reunión 2				
Semana 6 (13-19)				x	
Semana 7 (20-26)				x	
Semana 8 (27-4)				x	x

<b>Marzo</b>	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6	Tarea 7	Tarea 8	Tarea 9	Tarea 10
Semana 9 (5-11)	x	x	x			x	
Miércoles 14	Reunión 3						
Semana 10 (12-18)			x	x	x		
Semana 11 (19-25)				x	x		x
Semana 12 (26-1)					x	x	x

<b>Abril</b>	Tarea 8	Tarea 9	Tarea 10	Tarea 11	Tarea 12
Semana 13 (2-8)	x	x	x	x	x
Jueves 12	Reunión 4				
Semana 14 (9-15)	x		x	x	x
Semana 15 (16-22)	x	x			
Semana 16 (23-29)	x	x			





<b>Mayo</b>	Tarea 8	Tarea 9	Tarea 12	Tarea 13	Tarea 14	Tarea 15	Tarea 16
Semana 17 (30-6)	x	x	x	x	x		
Semana 18 (7-13)	x	x	x	x	x		
Semana 19 (14-20)	x	x	x		x	x	x
Jueves 24	Reunión 5						
Semana 20 (21-27)	x	x			x	x	x

<b>Junio</b>	Tarea 4	Tarea 14	Tarea 15	Tarea 16	Tarea 17	Tarea 18	Tarea 19
Semana 21 (28-3)	x	x	x	x	x		
Semana 22 (4-10)	x				x		
Semana 23 (11-17)							
Semana 24 (18-24)	x				x		
Semana 25 (25- 1)	x				x	x	x

<b>Julio</b>	Tarea 18	Tarea 19	Tarea 20
Semana 26 (2-8)	x	x	
Lunes 9	Reunión 6		
Semana 27 (9-15)			x



Además de las tareas de aplicación directa en el proyecto descritas anteriormente, también se especifican las distintas reuniones mantenidas con el director del proyecto a lo largo del transcurso del mismo:

- Reunión 1: lunes 9 de Enero. Proposición y aceptación del proyecto en el campo de tecnologías fabricación por capas.
- Reunión 2: miércoles 15 de Febrero. Proposición informe tecnologías prototipado rápido
- Reunión 3: miércoles 14 Marzo: Nueva línea de investigación en la transformación de archivos en formato STL a slices.
- Reunión 4: jueves 12 Abril: Presentación y aceptación de informe y tabla comparativa. Puesta en común es cuanto a transformación en slices.
- Reunión 5: jueves 24 Mayo: Puesta en común transformación slices. Utilización del software Magics y Matlab para generación de nubes de puntos de sólidos 3D.
- Reunión 6: lunes 9 de Julio: Aprobación de los archivos entregados y trazar las líneas de la redacción de la memoria y entrega del proyecto.
- Reunión martes 28 de Agosto: Repaso de aspectos formales previos al depósito de la memoria.



## 3. Tecnologías de fabricación por adición de capas (LMT)

### 3.1. Introducción:

La fabricación por capas, permite producir piezas tridimensionales de formas complejas, directamente, desde un modelo diseñado en CAD, mediante la adición sucesiva de material en forma de capas. Estas tecnologías cierran la brecha entre el diseño y concepto del producto y su posterior producción y son relativamente rápidas.

En el pasado las aplicaciones de la fabricación por capas estaban limitadas al desarrollo de prototipos e insertos de fundición ya que las propiedades mecánicas y el acabado de los productos no eran los adecuados. No obstante, con los recientes avances en el campo unidos a los post-procesos, se han desarrollado un sinfín de métodos de producción, implantes personalizados, diseños de arquitectura, réplicas arqueológicas... en un amplio abanico de materiales.

El método es el mismo en todos ellos, aunque los detalles de los procesos específicos puedan variar enormemente. Primero se crea un diseño CAD del modelo que después se descompone en una serie de capas perpendiculares.

Después esa información se pasa a una máquina que genera las capas físicamente añadiendo material.

No se necesitan herramientas específicas para geometrías complejas, basta con una sola máquina que genera cualquier tipo de geometría de manera automática y sin apenas intervención humana.

A efectos prácticos, podemos dividir la fabricación por capas en tres categorías diferentes:

- Rapid prototyping (RP).

Mediante el prototipado rápido se pueden generar todo tipo de moldes, patrones, moldes de fundición, implantes médicos, etc.

- Rapid Tooling (RT).

Ensayos para los productos y materiales, herramientas puente y herramientas de geometrías complejas.



- Rapid Manufacturing (RM).

Fabricación de piezas funcionales y producción de bajo volumen para series cortas, productos personalizados de geometrías complejas.

La introducción de estas tecnologías ha abierto nuevas posibilidades en el diseño, desarrollo y fabricación de productos. Las capacidades de la fabricación por capas para el uso competitivo de prototipos, herramientas, y piezas funcionales, están mejorando rápidamente. Por lo que el conocimiento de estas tecnologías y su aplicación efectiva, es de vital importancia para la industria de la producción y del diseño.

### 3.2. Historia:



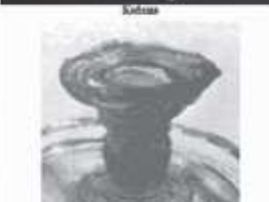

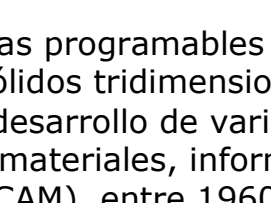
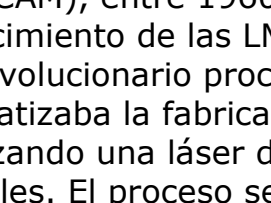
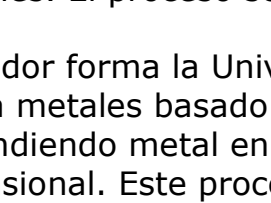
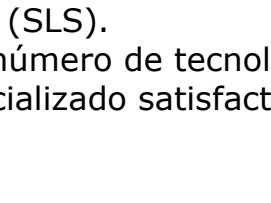

Los principios fundamentales de la fabricación por capas, se apoyan en la topografía y las técnicas de fotoescultura que se remontan a hace ya 150 años. Estas tecnologías conocidas como "de corte y apilado" se acercan a la construcción de un objeto de capa en capa. Ya en 1890 Blather sugirió un método mediante capas para hacer un molde para mapas topográficos de socorro. En el siglo XIX se desarrolló la fotoescultura para crear réplicas en 3D de cualquier objeto.

El desarrollo de la LMT moderna comenzó con un sistema propuesto por Munz en 1951, que contaba con las características similares del actual proceso de estéreo-litografía. En su proceso, se exponía a la luz una emulsión transparente fotosensible creando una capa que se fijaba a la anterior y así sucesivamente generando un cilindro transparente que contenía al objeto en estudio. Después mediante decapado manual o químico se extraía el objeto del interior de cilindro.

Después en 1968 los laboratorios Battelle y Swainson trabajaron también paralelamente en el desarrollo de esta tecnología.

En 1971 Ciraud propuso por vez primera un método que contaba con todas las características de las LMT modernas. Este método es esencialmente un método de deposición de polvo con un haz de energía.



Topography & Photosculpture		
1860 – Willème photosculpture	1951 – Munz patent	
1890 – Blather patent	1962 – Zang patent	
1902 – Baese patent	1971 – Gaskin patent	
1922 – Montheah patent	1972 – Matsubara patent	
1933 – Morioka patent	1974 – DiMatteo patent	
1937 – Perera patent	1978 – Nakagawa laminated tool	
1940 – Morioka patent		
Modern LM Processes		
1968 – Swinson patent	1990 – Levant patent, QuadraX and DMEC founded	
1972 – Ciraud patent	1991 – Teijin Seiki, Fockele & Schwarze, Solign, Meiko, Mitsui founded	
1979 – Housholder patent	1992 – QuadraX acquired by 3D, Kira and Laser 3D founded. First shipment by DTM	
1981 – Kodama patent	1994 – Snaders prototyping started	
1982 – Herbert patent	1985 – Aeroflex started	
1984 – Maruntani, Masters, Andre, and Hull patents	1997 – AeroMet, Optomec, ZCorp started	
1985 – Helysis founded and Denken venture started	1988 – Object founded	
1986 – Pomerantz, Feygin and Deckard patents, 3D founded	1989 – PCM founded	
1987 – Fudim, Arcella patents, Cubital, DTM and Dupont's Somos founded	2000 – Helysis closed and Solidica founded	
1988 – First commercial shipment by 3D, CMET and Stratesys founded	2001 – 3D and DTM merge	
1989 – Crump, Helsinki, Marcus, Sachs patents, EOS and BMP Tech. founded.		

**Figura 1: Evolución histórica de fabricación por capas y piezas iniciales producidas por estas técnicas**

La llegada del CAD y las herramientas programables basadas en representaciones matemáticas de sólidos tridimensionales ideadas por Herbert Voelcker en 1970, y el desarrollo de varias tecnologías básicas tales como el láser, nuevos materiales, informática, fabricación asistida por ordenador (CAM), entre 1960 y 1980, también han sido cruciales en el nacimiento de las LMT de hoy. En 1986, Charles Hull patentó un revolucionario proceso, al que llamó "estereolitografía" (SLA) que automatizaba la fabricación de prototipos precisos de plástico, utilizando una láser de luz ultravioleta (UV) y polímeros líquidos foto curables. El proceso se comercializó en 1988.

En 1987, Carl Deckard, un investigador forma la Universidad de Texas, se le ocurrió un proceso para metales basado en la fabricación por capas, en el que un láser iba fundiendo metal en polvo capa a capa generando un modelo tridimensional. Este proceso se conoció como sinterizado selectivo por láser (SLS).

Desde principios de los 90 un gran número de tecnologías de fabricación por capas se han comercializado satisfactoriamente, entre



las que se encuentran la laminación (LOM), fotopolimerización por UV (SGC) y el modelado por deposición de hilo fundido.

La fabricación de componentes metálicos funcionales no se hicieron esperar y muy pronto se comercializaron con éxito tecnologías de fabricación basadas en la adición de capas por láser, la fusión por haz de electrones (EBM) de capas en polvo, y la consolidación de ultrasonidos (UC) de láminas de metal.

En un principio los materiales eran principalmente poliméricos y cerámicos, más tarde se desarrollaron tecnologías que utilizaban metales como materia prima.

A mediados y finales de los 90, se desarrolló notablemente el área de la generación de herramientas para el moldeo por inyección y otros procesos de producción en masa basados en el moldeo, dando paso al desarrollo de una serie de procesos que implicaban el uso de alguna parte fabricada mediante producción por capas en algún lugar de la cadena de proceso de elaboración de una herramienta.

Las LMT actuales funcionan con una increíble alta precisión y permiten crear nuevos diseños y piezas en una fracción del gasto de una producción a gran escala. Además de la creación de los componentes reales para las pruebas de productos, las LMT se utilizan para producir modelos de muestra utilizando materiales alternativos.

Las capacidades de las LMT se están convirtiendo cada vez menos en un dominio exclusivo de las empresas y han dado el salto al sector doméstico, en el que ya existen versiones de estas tecnologías en tamaño reducido a un precio asequible.

### 3.3. Etapas del proceso

Los procesos básicos de fabricación utilizados para la producción de piezas son de tres tipos:

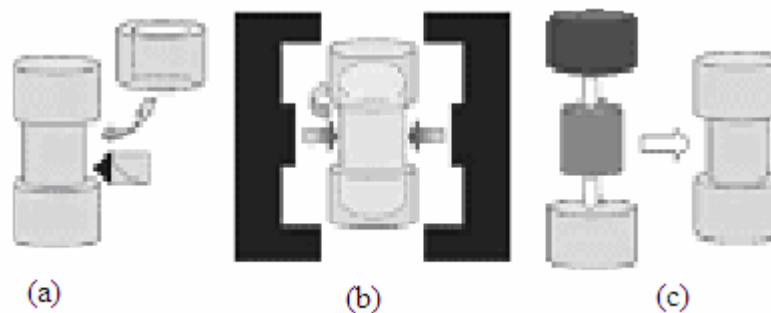
Sustractiva, formativa, y el aditivo como se muestra en la fig. 5,2. el proceso sustractivo comienza con un gran bloque único de material sólido y el material se elimina en lugares específicos hasta alcanzar la forma final deseada. Los procesos de fabricación de sustracción incluyen torneado, aserrado, taladrado, fresado, rectificado, lijado, mecanizado por descarga eléctrica (EDM), corte por láser y chorro de agua...



Un proceso aditivo es inverso a un proceso sustractivo. En este caso, manipulamos el material combinando porciones del mismo para formar la pieza deseada. En un proceso aditivo el producto final es mucho mayor que la materia prima inicial. Un ejemplo son la mayoría de los procesos de LM y la soldadura.

Ejemplos de fabricación formativa son los que procesos incluyen forja, trabajo de la prensa, y de moldeo por inyección, en el que una fuerza mecánica se aplica a una materia prima para moldear en una forma deseada.

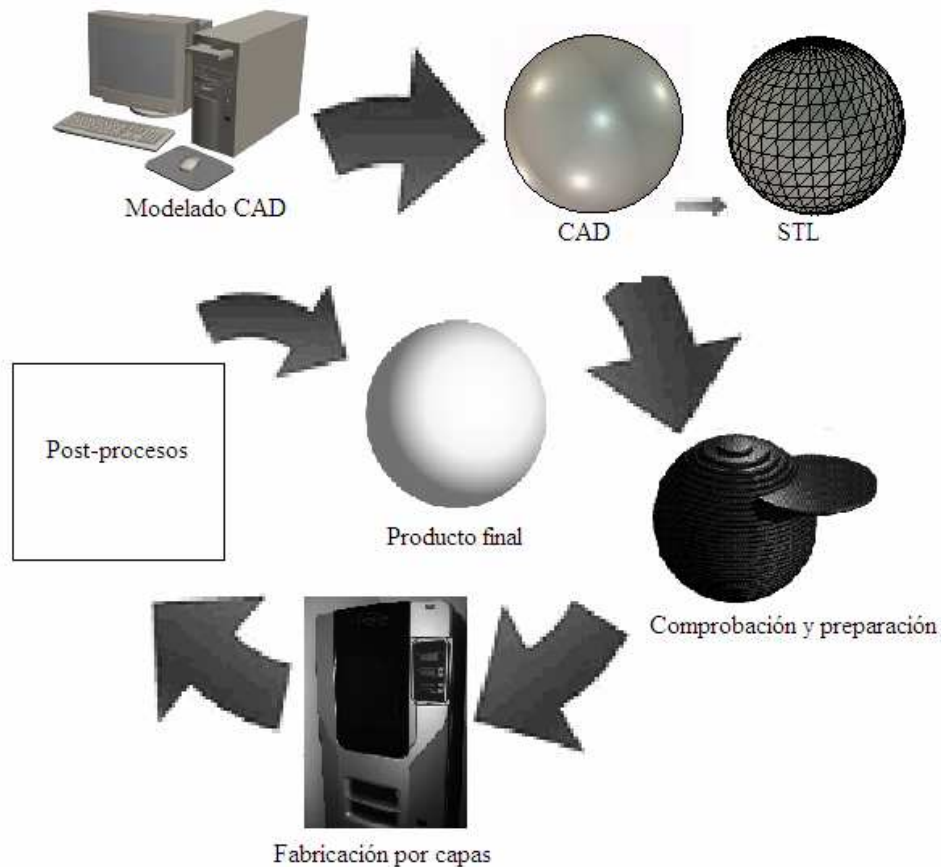
También es posible que una máquina combine dos o más procesos de fabricación son también posibles.



**Figura 2: Procesos de fabricación básicos: Sustractivo (a), formativo (b) y aditivo (d)**

Dentro de los procesos de fabricación por capas, aunque podamos encontrar pequeñas variaciones de un proceso a otro, todos ellos comparten los mismos principios de funcionamiento básicos y las mismas etapas en proceso:

- Modelado CAD.
- Conversión de datos.
- Comprobación y preparación.
- Construcción de la pieza por adición de capas.
- Post-proceso.



**Figura 3. Etapas básicas en un proceso de fabricación por capas**

Para alcanzar el acabado final esperado, en ocasiones es necesaria una gran cantidad de iteraciones entre los pasos 3 y 5. Al igual que ocurre en otros procesos de fabricación, la planificación del proceso es una parte crucial en la fabricación por capas. A continuación se desarrollan las 5 etapas del proceso mencionadas anteriormente:





### **3.3.1. Modelado CAD**

La fabricación por capas requiere de datos digitales que describan las figuras en 3D, es por ello que el modelado CAD es un requisito previo importante, y uno de los pasos en los que más tiempo se invierte.

Existe una gran variedad de sistemas CAD y CAM con los que se puede generar el modelo, y en aquellas partes donde las geometrías no se asemejen a interpolaciones matemáticas, se utiliza una máquina de medición por coordenadas o un dispositivo láser para capturar las posiciones de distintos puntos del modelo físico y poder reconstruirlo en un sistema CAD. El archivo generado, deberá ser una representación de un volumen cerrado con superficies y sólidos como elementos básicos. Esto asegura que todas las secciones transversales horizontales sean curvas cerradas con las que se pueda crear el objeto sólido final.

Irremediablemente la pieza producida presentará diferencias con el modelo generado en CAD del proceso LM, por lo tanto se debe tener cuidado en el diseño de la pieza y en la especificación de los parámetros, para evitar errores debidos a geometrías difíciles de construir con paredes delgadas, salientes, pequeños orificios o ranuras... También se deben estudiar meticulosamente las estructuras de soporte para la pieza.

Por todo esto, es importante que los diseñadores y los técnicos encargados de las máquinas LM trabajen estrechamente e inviertan tiempo para adquirir experiencia en el uso de los equipos, aunque la disponibilidad de tantos sistemas distintos de LM cada uno con sus características y singularidades puede dificultar esta labor.

### **3.3.2. Conversión de datos**

El archivo CAD se transforma a formato STL (Stereolithography), el cual fue creado por 3D Systems y consiste en una aproximación a la superficie del modelo tridimensional mediante pequeños triángulos. Una superficie y un vector que indica la dirección hacia el exterior perpendicular a la superficie del triángulo representan el límite del sólido. Este tipo de formato se ha estandarizado en la actualidad ya que facilita la disección en distintas rebanadas (algo que nos vendrá



bien en fases posteriores del proceso) mediante un algoritmo que busca intersecciones entre líneas y triángulos.

En la actualidad casi todos los programas CAD, cuenta con un módulo de conversión CAD-STL y permiten al usuario ajustar la desviación máxima permisible entre el modelo CAD original y el STL generado.

La desviación máxima permitida depende de la resolución deseada y el tamaño máximo de STL con el que el sistema pueda trabajar.

No obstante el formato STL presenta algunos problemas, lo que ha llevado a desarrollar algunos formatos paralelos tales como:

- SLC (Stereolithography Contour)
- CLI (Common Layer Interfaz)
- RPI (Rapid prototyping interfaz)
- LEAF (Layer Exchange ASCII Format)

Sin embargo el STL es todavía el formato que predomina en los procesos de fabricación por capas.

### ***3.3.3. Comprobación y preparación***

A menudo, los archivos STL sufren de defectos o ausencia de datos. Esto puede ser debido a errores en el diseño CAD o en los algoritmos de triangulación CAD-STL.

Especificaciones de formato

El formato STL puede ser de dos tipos: Binario y ASCII. Los dos contienen la misma información pero uno de ellos puede ser leído (y editado) con un simple editor de texto y el otro debe ser escrito byte a byte por software. Los tres puntos que conforman una faceta 3D más el vector que describe su dirección normal definen cada faceta en un STL. El .stl es la representación basada en facetas que aproxima la superficie y cuerpo de objetos sólidos. Las entidades como puntos, líneas, curvas y atributos como capas y colores (en la mayoría de los exportadores) serán ignorados durante el proceso de salida. La especificación original de los archivos .stl especificaba que todas las coordenadas de los vértices del objeto debían ser positivas. Sin embargo, con escasas excepciones, la mayor parte del software que se utiliza hoy en día permite colocar las facetas en localizaciones arbitrarias.



El formato .stl permite mucho pero garantiza muy poco: simplemente exportar a .stl no garantiza en ningún modo que el modelo pueda imprimirse.

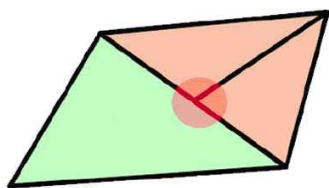
Es posible representar múltiples cuerpos en un único archivo .stl y algunas variantes permiten incluso incluir información de color.

Problemas comunes y soluciones

La siguiente sección describe algunos problemas comunes que surgen durante la preparación de un archivo .stl para su impresión.

## 1- Regla Vértice-a-vértice

El error más común en un archivo .stl es que no respete la regla Vértice-a-vértice. Las especificaciones .stl requieren que todos los triángulos adyacentes compartan dos vértices en común. Para que esto sea válido bajo la regla Vértice-a-vértice, el triángulo inferior debe ser subdividido. Ésta es la causa típica de que aparezcan agujeros en los archivos.



Problema de Vértice

**Figura 4: Facetas que no respetan la regla Vértice-a-vértice**

Solución:

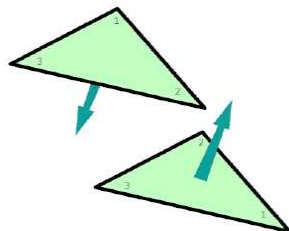
Los programas de reparación automática de .stl son capaces de diagnosticar y reparar este problema en la mayoría de las circunstancias pero al final siempre se hace necesaria una última reparación manual para objetos o proyectos amplios y complejos. La reparación básica consiste en borrar algunas caras y las reconstruir utilizando los vértices colindantes. Qué caras borrar y cuál es el número apropiado de caras adicionales a construir depende del contexto del error. Con un poco de práctica, es un error fácilmente reparable, en los casos en los que falle la reparación automática.

## 2- Normales invertidas

Otro error común de los archivos .stl es que las normales de superficie (polígonos) estén incorrectamente orientadas. El signo visible de una normal invertida se confunde fácilmente con un hueco o agujero en el objeto. Este error es debido a una construcción



manual incorrecta de cara, o la aplicación inadecuada de la reparación automática el la unificación y cálculo de normales).



Normales invertidas

**Figura 5.**

**Solución:**

Todos los paquetes 3D modernos ofrecen herramientas para corregir normales manualmente así como automáticamente utilizando el comando "unificar normales". En la mayoría de los objetos, estas herramientas automáticas son capaces de cumplir con la tarea perfectamente. Pero algunos objetos pueden causar problemas, como por ejemplo objetos con intersecciones, huecos o agujeros. Cuando se construyen caras manualmente uno necesita adherirse a "la-regla-de-la-mano-derecha" (listar los vértices de las facetas en el sentido contrario a las agujas del reloj cuando se observa el objeto desde el exterior) Si hay sólo unas pocas normales invertidas, es sencillo y rápido repararlas manualmente. Sin embargo, con muchos errores puede ser un proceso lento y tedioso.

### 3- Dobles caras y bordes múltiples

Las dobles caras y bordes múltiples son lo que su nombre sugiere. Estos errores .stl ocurren donde, por diversos motivos, las caras y los bordes duplicados pertenecen a un objeto. Si hay duplicados de objetos completos, el arreglo es simple: encuentra los duplicados y los borra para dejar una copia intacta .stl del objeto que se está manipulando. La otra posible causa de este error es que los fragmentos de objetos cercanos fueran agrupados de manera inadvertida en la misma malla y el programa los reconozca como duplicados.

**Solución:**

Estos problemas se remedian habitualmente mediante el uso de software de reparación de .stl (se mencionan varios ejemplos en el apartado dedicado al software en este mismo documento). El diagnóstico manual es complicado y resulta fácil equivocarse. Suele ser mejor intentar re-exportar el archivo original después de cierta



limpieza en la aplicación de origen. Si la reparación manual es la única opción posible, se deben localizar y borrar los duplicados y resoldar los elementos apropiados (caras, vértices y aristas). Este paso es muy importante ya que si se obvia, esto dará lugar a consiguientes errores nombrados a continuación tales como aristas abiertas, puntas, agujeros, huecos, etc.

#### 4- Huecos, agujeros, puntas y aristas abiertas

Agrupamos estos errores porque tienen una misma razón de ser. Los huecos son errores comunes debidos a una triangulación inapropiada de las superficies. Cualquier proceso (construcción automática de facetas o parametrización automática) que no asegure un objeto sólido hermético tiende a producir huecos.

Los agujeros son similares a los huecos, excepto que son normalmente más visibles y habitualmente consecuencia de booleanos inapropiados y soldado inapropiado de una capa superficial (o pérdida de capas accidental). Los agujeros son también comunes en el escaneado 3D y en los sistemas de proceso de nube de puntos, como los que se utilizan en aplicaciones de ingeniería inversa. Los agujeros son exactamente lo que su nombre sugiere: son caras perdidas en superficies que de otra manera serían contiguas.

Las puntas son rasgos del estilo de una península que tienen aristas abiertas a lo largo de sus costas (extremos).

Las aristas abiertas son normalmente los bordes de un hueco o un agujero, o los límites de una punta. En los casos, en los que no hay ni un hueco ni un agujero ni una punta presentes, las aristas abiertas son el resultado de un soldado inapropiado o incompleto.

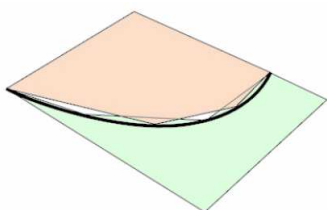
Solución:

Casi todos estos errores pueden ser reparados (con distintos grados de precisión) a través de una operación básica de tapado. Una operación de tapado localiza cualquier arista abierta (cualquier localización que cause que el objeto no sea hermético) y la sella. Con el tapado, es común que se conecten las aristas de manera incorrecta y que surjan caras aleatorias en los objetos, así que debe usarse con la mayor de las precauciones. Las herramientas de tapado no son inteligentes y no les importa qué transición se produce entre la superficie original y las nuevas capas. Algunos programas automatizados de reparación de .stl (como Magics RP) tienen la capacidad de realizar un tapado de manera que intente mantener la curvatura a lo largo superficies recién tapadas.



Puesto que hay literalmente cientos de situaciones que llevan a errores como los discutidos en esta sub-sección, a continuación explicamos algunos tratamientos genéricos. Todos estos errores tienen aristas abiertas en común. Aunque el tapado "aleatorio" puede cambiar la apariencia del objeto, prácticamente siempre lo vuelve hermético. Desde ahí, se pueden reconstruir ciertas porciones y cubrir los errores producidos por el tapado. Este proceso suele ser mejor que una reconstrucción.

Es posible corregir manualmente estos errores verificando que los elementos no duplicados estén apropiadamente soldados. Es una tarea compleja que crece exponencialmente con el tamaño del objeto por lo que es adecuado hacer comprobaciones previas frecuentemente en la fase de diseño del modelo para evitar largos procesos de detección de errores en el modelo terminado.



**Figura 6. Un ejemplo de superficie con huecos.**

### 5- Caras degeneradas

Aunque el problema de las facetas degeneradas no es crítico, eso no significa que deban ser ignoradas. En primer lugar porque los datos de facetas incrementan el tamaño del archivo. En segundo lugar, y más importante aún, esas facetas pueden confundir a los algoritmos de análisis de la aplicación de preprocesado RP y hacer la actividad de edición de soporte mucho más complicada de lo que ya es. Estos errores son generalmente un síntoma de una configuración errónea de importación/exportación, de las limitaciones de la exportación .stl del paquete 3D con el que se trabaje, o el resultado de una variedad de booleanos inapropiados, optimización y otras operaciones de mallado.

Los tipos de caras degeneradas incluyen: los tres vértices de la faceta son co-lineales o se transforman en co-lineales cuando el algoritmo de la aplicación importadora trunca las coordenadas previamente no co-lineales.



Caras no degeneradas

**Figura 7.**

Los tres vértices de la faceta son coincidentes o se transforman en coincidentes cuando el algoritmo de la aplicación importadora trunca las coordenadas no coincidentes previamente.

Solución:

No hay arreglos automatizados para estos tipos de errores. Algunos programas pueden detectar automáticamente estos errores como vértices, caras y aristas huérfanos/as, y algunos pueden detectar superficies largas y delgadas como problemáticas. El único arreglo auténtico es diagnosticar la fase de importación/exportación y asegurarse de que no se pierde información en la transición. Habitualmente basta con cambiar las tolerancias de construcción, la configuración de unidad y la de soldado para remediar estos errores.

Si todos estos errores mencionados no se tienen en cuenta y reparan, pueden suponer el fracaso de todas las posteriores operaciones, por tanto siempre es necesario realizar comprobaciones del modelo antes de que éste sea enviado a los sistemas de fabricación por capas. La reparación manual de los modelos es una práctica rutinaria la cual ha sido facilitada mediante el uso de software especializado como es el ejemplo de MAGICS de la compañía Materialise.

Una vez los archivos STL son correctos, se envían a la máquina LM cuyo software realiza correcciones en función de la geometría teniendo en cuenta parámetros tales como la contracción, distorsiones, post-proceso...

Entre las acciones que realiza el software de la máquina para la actual fase de construcción, se encuentran también la orientación de la pieza, generación de estructuras de soporte, transformar el archivo en rebanadas, seleccionar la trayectoria de deposición del material y parámetros del proceso y el diseño de la construcción.

### **- Orientación de la pieza.**

Es un aspecto muy importante a tener en cuenta, ya que una correcta orientación asegura una mejor calidad de la pieza, la





reducción del tiempo de construcción y estructuras de soporte y las propiedades finales deseadas en diferentes orientaciones.

Puesto que las piezas están construidas capa por capa, el número total de capas que haya en función de la altura de cada una de ellas, determinará el tiempo total de construcción.

Dependiendo de los materiales y de los procesos de LM, las piezas suelen mostrar límites claros entre cada una de las capas individuales, que contribuyen a que el material de la pieza no se comporte de manera isótropa. Por lo que la selección de una orientación u otra en la pieza determinará después sus propiedades mecánicas en una u otra dirección.

### - **Generación de estructuras de apoyo.**

No todos los procesos LM precisan de estructuras de apoyo. En la construcción de piezas mediante procesos basados en lecho de polvo, no se necesitan soportes puesto que el propio polvo hace de soporte a las capas superiores que aún no se han generado.

Otros procesos basados en la extrusión a menudo requieren de soportes durante alguna fase de la construcción para evitar el hundimiento o la flacidez de ciertas partes. No obstante la mayoría de sistemas LM incorporan un software específico que genera dichos soportes automáticamente en función de la orientación de la pieza. La desventaja de estas estructuras de apoyo es que suman costes en materiales y en tiempo de producción y post-producción.

### - **Transformar el archivo en rebanadas (Slicing).**

Consiste dividir una imagen en 3D en una serie de secciones transversales en 2D separadas unas de las otras por muy poca distancia, la cual puede especificar el usuario (por lo general entre 0.05mm y 0.5mm).

El acabado superficial en Z depende del grosor de capa, ya que el principal error asociado al slicing es el error de escalera, como se muestra en la figura 8.

Este error puede disminuir eligiendo un espesor de capa menor, pero a costa de un aumento en el tiempo de producción. Existen nuevas técnicas como es el caso del "slicing adaptativo" que minimizan el error de escalera.



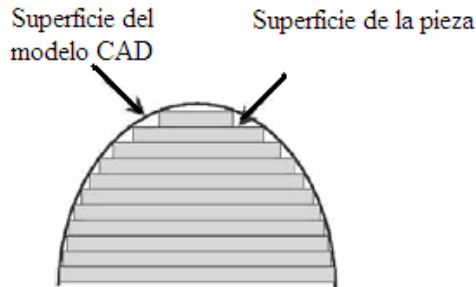


Figura 8: Aproximación de slices a una superficie curva

**- Trayectoria de deposición y parámetros del proceso.**

Después del slicing, el usuario puede elegir como quiere que esas secciones sean realizadas. Los procesos LM que utilizan un cabezal de deposición con forma de punto o línea (como por ejemplo FDM), precisan de una trayectoria que la máquina seguirá para construir cada capa. De la trayectoria elegida dependerán parámetros tales como la resistencia de la pieza, el tiempo de construcción y el acabado superficial.

**- Diseño de la construcción.**

Los sistemas LM pueden construir distintas partes al mismo tiempo en una operación, pero es necesario considerar cuidadosamente la colocación de las partes en el diseño general ya que esto afectará a la eficiencia del proceso. Por lo general es recomendable disponer las piezas de tal forma que las partes más altas de una construcción terminen en la misma cota Z.

El número máximo de piezas iguales que pueden hacerse en una tirada, depende de la capacidad de que disponga nuestro sistema LM.

### ***3.3.4. Construcción de la pieza por adición de capas.***

En la mayoría de sistemas LM, este paso es totalmente automático y puede realizarse prácticamente sin la necesidad de intervención humana. El tiempo de construcción puede variar de pocas horas a días en función del tamaño y el número de piezas.

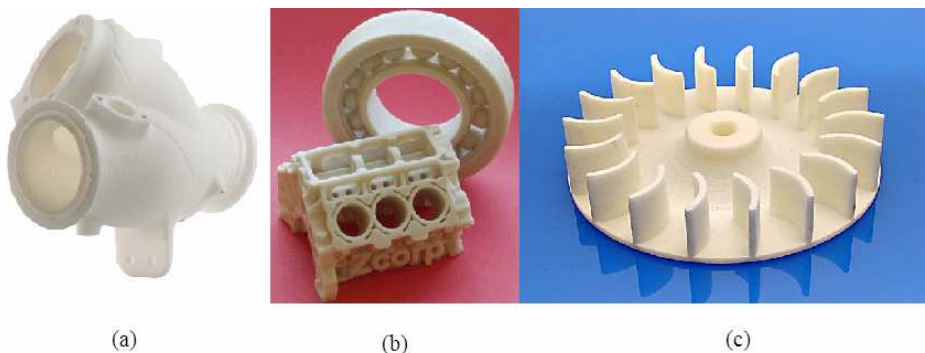


Figura 9. Piezas fabricadas mediante distintos sistemas LM: (a) Deposición de hilo fundido (FDM), (b) Impresión 3D, (c) Sinterizado selectivo por láser (SLS)

### 3.3.5. Post-procesos

Generalmente, en la etapa final son necesarias algunas operaciones manuales que suponen un posible riesgo físico para las piezas, por lo que es aquí donde más cuidado ha de tenerse. Cada tecnología LM genera piezas que requieren de unos post-procesos distintos. Por ejemplo en el caso de SLS es necesario eliminar el exceso de polvo en las piezas o en el caso de SLA se precisa limpiar la resina del interior de los orificios y cavidades.

Los post-procesos a demás de ser necesarios, determinan en muchos casos la calidad superficial y la precisión mediante operaciones de torneado, fresado, lijado...

Post- procesos	SLS	SLA	FDM
Limpieza	Necesario	Necesario	No necesario
Post- curado	No necesario	Necesario	No necesario
Acabado	Necesario	Necesario	Necesario

Tabla 1: Post-procesos necesarios para SLS, SLA y FDM



### **3.4. Ventajas de la fabricación por capas**

La principal ventaja de los sistemas LM es su capacidad de fabricar piezas de geometrías complejas de manera directa y en un periodo de tiempo relativamente corto. Algunos sistemas LM permiten la utilización de distintos materiales en diferentes lugares de una misma pieza, para satisfacer en mayor medida los requerimientos mecánicos y estéticos específicos.

### **3.5. Clasificación de los sistemas de fabricación por capas:**

#### ***3.5.1. Rapid Prototyping (RP)***

El prototipado rápido permite realizar un prototipo del modelo previo a su producción. El beneficio más importante es el ahorro de tiempo y dinero en el desarrollo de productos ya que esta tecnología permite producir piezas de manera rápida y económica. Dependiendo del volumen de la producción, puede suponer un ahorro de tiempo y dinero de entre un 50% y un 90%.

También beneficia al marketing y permite a los clientes tener una idea del producto final y apreciar características tales como estilo y ergonomía del producto, pudiendo realizar modificaciones previas a la fase de producción. Por ejemplo resulta particularmente útil en la producción de objetos que deben ajustarse a una geometría concreta (cascos, máscaras de respiración, piezas de montajes...) y en los que es frecuente el sistema de ensayo error.

Los sistemas LM permiten ofrecer productos que satisfagan las necesidades del mercado disminuyendo los tiempos en el proceso de fabricación.



### **3.5.2. Rapid Tooling (RT)**

En lugar de utilizar la tecnología de fabricación por capas para crear una pieza, otra opción es la de crear un molde con el que fabricar posteriores utillajes y herramientas tales como moldes, insertos de moldes, canales de refrigeración dentro de una máquina de moldeo por inyección y otras geometrías de herramientas complejas que no podrían ser producidas por otros métodos. Otra de las ventajas es la velocidad de fabricación y la capacidad para fabricar herramientas en distintos materiales, lo cual puede incrementar la productividad de un 25% a un 50%.

### **3.5.3. Rapid Manufacturing (RM)**

Una de las características de ciertos sistemas LM que cada vez se está utilizando más en la actualidad, es la de fabricar piezas funcionales mediante métodos directos o indirectos.

Mediante el método indirecto se realiza un molde negativo de la pieza para fabricarla posteriormente. De este modo se pueden realizar de forma indirecta piezas en metal o cerámica.

El método de fabricación directa es posible gracias a sistemas como la deposición directa de metal (DMD), la deposición de material por láser (LMD) y procesos híbridos que combinan deposición por láser y mecanizado.

Puesto que se pueden producir cualquier tipo de geometría, no es necesario tener en cuenta la forma ni el diseño de la producción, lo cual abarata el proceso y ahorra tiempo.

Permite la fabricación de productos personalizados y en materiales con los que de otra manera resultaría difícil trabajar.

## **3.6. Principales procesos de fabricación por capas**

Los procesos LM pueden clasificarse atendiendo a un gran número de aspectos tales como la fase del material de alimentación, según el método de fabricación, el tipo de materia prima...



En la siguiente figura se muestra un esquema con los principales procesos de fabricación por capas actuales, clasificados en función del método de fabricación:

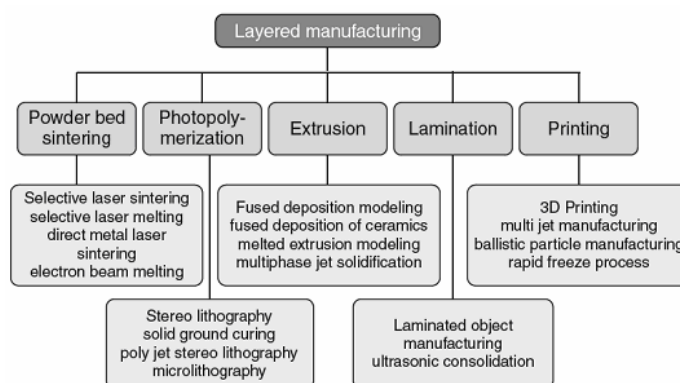


Figura 10: Principales sistemas de fabricación por capas.

### 3.6.1. Sinterizado en lecho de polvo.

Se desarrolló en la universidad de Texas en Austin (EEUU) en 1989. En un principio servía para la fabricación de piezas realizadas en termoplásticos, debido a su bajo punto de fusión. Más tarde se extendió también a los metales y materiales cerámicos en polvo. En la actualidad hay dos empresas que producen sistemas de sinterizado en lecho de polvo: 3D Systems de EEUU y EOS GmbH de Alemania.

#### 3.6.1.1. Sinterización selectiva por láser (SLS)

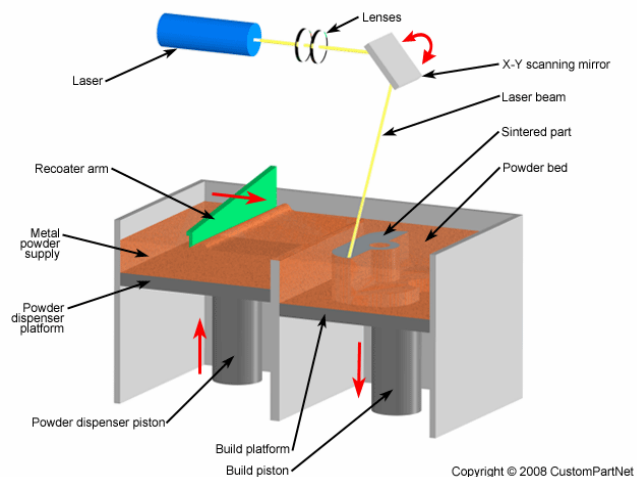
Se esparce una capa de material en polvo sobre la plataforma de nivelación con la ayuda de un rodillo.

Después un rayo láser cauteriza el material definiendo la geometría del modelo capa a capa.

Una vez se ha terminado una capa, la plataforma desciende y el rodillo esparce una nueva capa de material, repitiéndose el proceso tantas veces como capas se hayan definido.



Imagen del proceso:



**Figura 11.**

**Ventajas:**

- Modelos de buen acabado superficial y prestaciones mecánicas
- Piezas duraderas que soportan la humedad y altas temperaturas
- Modelado de geometrías complejas.
- Piezas funcionales (En ocasiones el material del prototipo llega a tener mejores cualidades mecánicas que el material que será posteriormente inyectado en los moldes en el proceso de producción).
- No se necesitan materiales de soporte.
- Mayor variedad de materiales.

**Desventajas:**

- Desviaciones dimensionales debidas a las altas temperaturas del proceso (tolerancias de hasta un 5%)
- Piezas de superficie algo rugosa y laminada.
- Piezas de grandes dimensiones resultan caras.
- Necesario el uso de nitrógeno para generar atmósfera inerte.

Espesor capa: 0.075mm - 0.5mm

Acabado superficial: Algo granulado y piezas de aspecto laminado.

Velocidad: Depende de la cantidad de capas definidas. La velocidad del escáner en algunas máquinas llega a 12 m/s

Materiales: Materiales plásticos en general. Diferentes poliamidas, poliéster, poliuretano, ABS, policarbonato, nylon, fibra de vidrio, poliestireno.



### **3.6.1.2. Sinterizado directo de metal por láser (DMLS)**

Es un proceso de producción por capas que permite la fabricación de insertos de molde con forma compleja y componentes metálicos. El proceso es similar al sinterizado selectivo por láser (SLS) con la diferencia de que utilizamos polvo de metal como materia prima en lugar de polímeros. La potencia del Láser por tanto, ha de ser mayor para fundir el metal.

Ventajas:

- A las ventajas presentadas por la SLS, se le suma la posibilidad de obtener piezas en metal, aumentando así su versatilidad.
- Se utiliza para la producción de piezas tanto funcionales como de prototipo y de moldes para inyección de piezas con geometrías complejas.
- Se obtienen modelos de metal macizo en un 99%
- Al eliminar los post procesos, se reducen los costes.

Desventajas:

- En según que casos, son necesarios tratamientos térmicos posteriores
- Consumo eléctrico.

Espesor capa: 0.02mm - 0.06mm

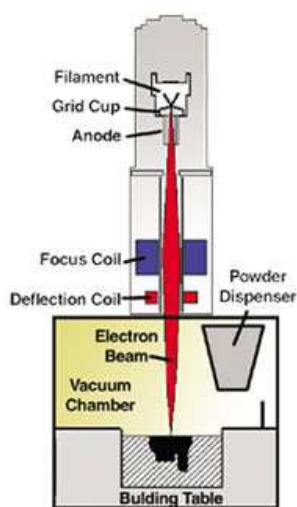
Acabado superficial: Algo granulada.

Materiales: Acero inoxidable, aceros martensíticos, inconel, cromocobalto, titanio, aluminio, aleaciones de níquel, bronce, cobre, tungsteno.



### **3.6.1.3. Fusión por haz de electrones (EBM)**

Proceso similar a DMLS con la diferencia de que la fusión del metal en polvo se realiza mediante el bombardeo de electrones, lo cual origina suficiente calor para la fusión del material.



**Figura 12**

Ventajas:

- Es un proceso más controlado que el DMLS y que genera mejores acabados superficiales
- Más preciso
- Elimina la necesidad de posteriores tratamientos térmicos

Desventajas:

- El proceso precisa de vacío, por lo que las dimensiones de trabajo se ven limitadas a las de la cámara de vacío.
- Producción de rayos gamma

Espesor capa: 0.05mm - 0.2 mm

Acabado superficial: Bueno

Velocidad: De 3 a 5 veces mayor que con DMLS

Materiales: Aleaciones de titanio (tecnología enfocada sobretudo a implantes médicos e industria aeroespacial).





#### **3.6.1.4. Proyección de aglutinante (DSPC)**

AL igual que en SLS el proceso se realiza aplicando sucesivamente capas de material en polvo que conforman el modelo, pero en lugar de un láser que funde el polvo, en este caso es una boquilla con adhesivo la que va rellenando los pequeños huecos entre las partículas de polvo con aglutinante, conformando así una geometría sólida.

Ventajas:

- Proceso rápido y económico
- Puede utilizarse para fabricar moldes
- Se puede añadir una segunda fase de material junto con el aglutinante.
- Se pueden utilizar distintos colores simultáneamente
- Al igual que en SLS, el propio polvo no aglutinado sirve de soporte para las sucesivas capas, por lo que permite la creación de geometrías complejas sin la necesidad de añadir elementos de soporte.

Desventajas:

- Modelos frágiles no funcionales.
- Peores acabados y precisión dimensional que otros sistemas PR.

Espesor de capa: 0,1mm - 0,18mm

Acabado superficial: Inferior a SLS o SLA

Velocidad: Método bastante rápido (Depende del tiempo de secado de los distintos aglutinantes que se utilicen)

Materiales: Originalmente se utilizaban materiales cerámicos como base polvo (escayola comúnmente), aunque cada vez se están desarrollando nuevos materiales: Cera, almidón, algunos aceros...

#### **3.6.2. Fotopolimerización.**

En estos procesos, el modelo se genera capa a capa mediante el curado de una capa de resina en estado líquido, la cual al solidificar genera una sección sólida de la silueta del modelo a producir. Una

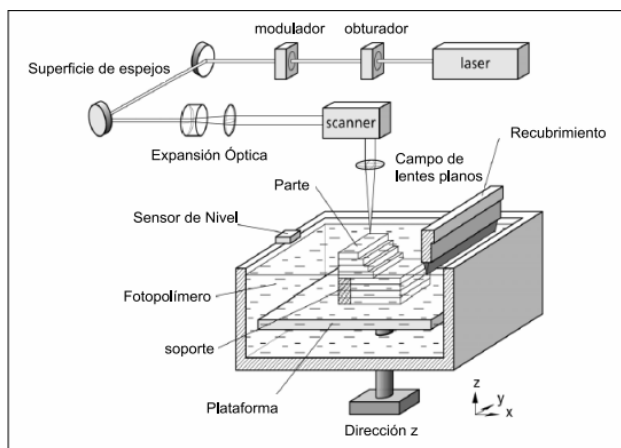


vez la capa expuesta ha solidificado, la plataforma que contiene el modelo desciende una altura igual al espesor de la nueva capa a generar sobre la anterior. Este espacio es ocupado por una nueva capa de resina líquida dispuesta para su posterior curado y repetición del ciclo.

### **3.6.2.1. Estereolitografía (SLA)**

Consiste en el curado de una resina fotopolimérica mediante su exposición a un rayo láser de alta intensidad, el cual al solidificar la resina, va generando capa a capa, el patrón cuya información hayamos introducido en el ordenador.

Imagen del proceso:



**Figura 13**

#### **Ventajas**

- Modelos duraderos de buen acabado superficial y prestaciones mecánicas
- Piezas precisas de bajas tolerancias dimensionales (máximo 2%)
- Modelado de geometrías complejas.
- Modelos son traslúcidos.
- Tecnología más madura.
- Es una de las tecnologías que permite producir un tamaño de piezas mayor



#### Desventajas

- Alto coste de resinas fotopoliméricas.
- Modelos pueden resultar quebradizos
- Piezas de grandes dimensiones resultan muy caras y menos fiables dimensionalmente por tensiones residuales tras el curado.
- Limitación en cuanto al uso de materiales y por tanto limitación en cuanto a funcionalidad de los modelos generados.
- Algunas partes requieren soportes para su conformado
- Limpieza y pulido posterior de los modelos una vez conformados.

Espesor capa: 0.005mm - 0.5mm

Calidad superficial: Es una de las tecnologías que ofrece mejores acabados superficiales

Velocidad: Resulta relativamente lento comparados con otros sistemas RP.

Materiales: Resinas fotopoliméricas de ABS, policarbonato, polipropileno, epoxi, éter vinílico.

### 3.6.2.2. Fotopolimerización por UV (SGC)

A diferencia de la estereolitografía, el curado de la resina se realiza mediante radiación ultravioleta.

Se procede a la creación de una máscara sobre una superficie de vidrio, la cual carga de forma negativa la imagen de la capa a modelar. Los rayos atraviesan dicha máscara e inciden sobre una capa de resina curando las partes expuestas.

Se repite el proceso tantas capas como sea necesario.

Suele utilizarse para la fabricación de moldes a la cera perdida.

Imagen del proceso:

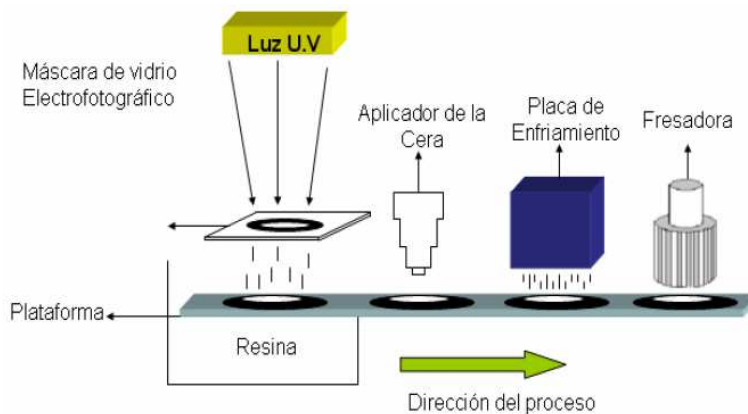


Figura 14

**Ventajas:**

- Mejor acabado superficial y precisión que con SLA.
- Mejores propiedades mecánicas debido a la forma de polimerización del material (Se cura una capa entera en una sola exposición, a diferencia de SLA que el curado es punto por punto)

**Desventajas:**

- Alto coste debido a la complejidad del proceso.
- Se genera ruido excesivo.
- Equipo pesado y de grandes dimensiones (equipo de 5000 Kg.)
- Necesidad de elementos de soporte.

### **3.6.3. Extrusión.**

En los procesos de extrusión el material que generará el modelo capa a capa, es depositado por unas boquillas que los extruyen en estado semisólido para pasar a solidificar una vez depositado fundiéndose con la capa anterior y el material adyacente.

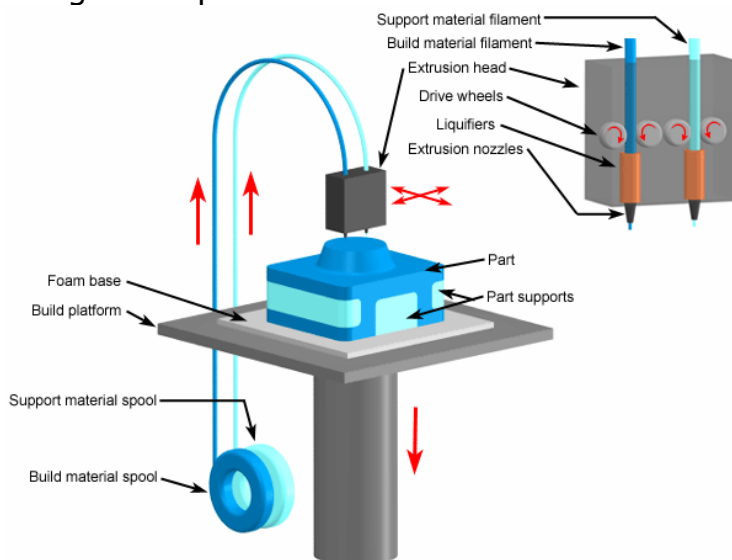
#### **3.6.3.1. Modelado por deposición de hilo fundido (FDM)**

Una boquilla deposita un hilo de material 1°C por encima de su punto de fusión, el cual se solidifica inmediatamente en contacto con la capa precedente.



El material es introducido en forma de hilo tras desenrollarse de un carrete, y pasa al cabezal donde es calentado hasta fundirse

Imagen del proceso:



**Figura 15**

#### Ventajas

- No se necesitan elementos de soporte ya que el sistema los genera automáticamente en otro material removible en el post proceso.
- Materia prima económica
- Más rápido que SLA

#### Inconvenientes

- Limitación en cuanto a materiales
- Apariencia granulada

Espesor capa: mínimo 0,04 mm

Acabado superficial: Algo granulado

Velocidad: Proceso bastante rápido.

Materiales: Ceras, ABS, nylon, policarbonato, poliéster.

### **3.6.4. Laminación.**

El material es depositado en láminas en estado sólido que una vez unidas definen la geometría del objeto a construir.



### 3.6.4.1. Manufactura de objeto laminado (LOM)

Un rayo láser define la geometría del modelo capa a capa sobre una lámina de material (papel con adhesivo) que se presenta enrollada en un rodillo.

Una vez, la capa ha sido terminada, la plataforma desciende y el rodillo avanza depositando una nueva capa de material.

Imagen del proceso:

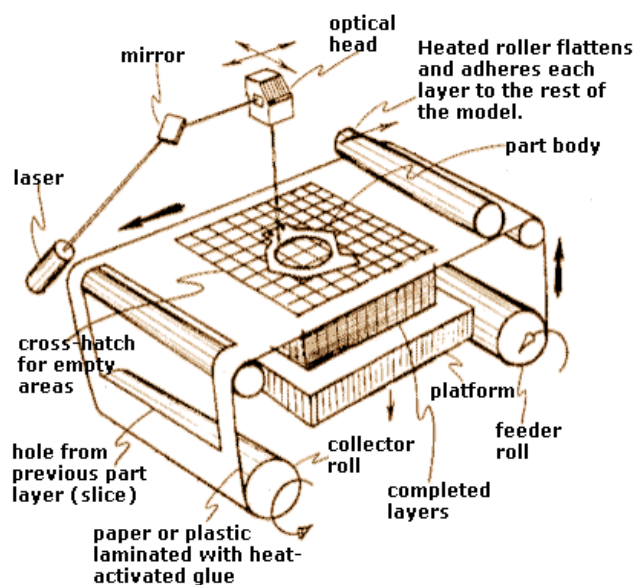


Figura 16

Ventajas:

- Uno de los procesos más rápidos y baratos.
- Permite el conformado de piezas grandes sin que esto incremente en exceso los costes de producción

Desventajas:

- Modelos no funcionales
- Es necesario retirar manualmente el exceso de material.
- Mayores tolerancias en el eje z

Espesor capa: 0,05 mm - 0,5 mm



Acabado superficial: Utilizando papel como materia prima, el acabado es similar a la madera.

Velocidad: Uno de los procesos más rápidos ya que el láser sólo tiene que trazar los contornos

Materiales: Papel, poliéster, nylon-celulosa

### ***3.6.5. Impresión.***

Tecnología que combina características propias de la SLA en cuanto al uso de resinas fotopoliméricas, con los procesos de extrusión de aglutinante

#### **3.6.5.1. Impresión PolyJet (MJM)**

Basada en el mismo principio que la deposición de hilo fundido (FDM). Una boquilla dispara un material fotopolimérico en forma de capas delgadas sobre un contenedor de forma. El cabezal que deposita el material ocupa todo el ancho de la pieza (contiene hasta 448 boquillas), realizando cada capa en una única pasada. Este proceso se repite capa por capa hasta que la parte ha sido completada.

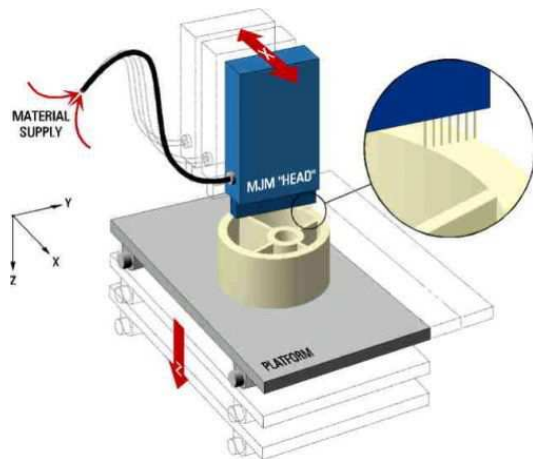
Cada capa de foto-polímero es curada por una Luz UV inmediatamente después de haber sido disparada.

Por ser una tecnología similar a la estereolitografía, presenta sus mismas ventajas e inconvenientes, con la diferencia de que no necesita una limpieza posterior y hay un mejor aprovechamiento del material.

Se pueden conseguir geometrías de hasta 16 micrones de espesor.



Imagen del proceso:



**Figura 17**

Ventajas:

- Más rápido que FDM
- De los procesos más baratos
- Se aumenta la precisión en comparación con FDM
- Puede utilizarse para la creación de moldes para cera perdida

Desventajas:

- Limitación en cuanto a materiales
- Es necesario el uso de soportes
- Modelos quebradizos
- Son necesarios post procesos de retirada de material de sustentación, limpieza y acabado de la superficie en contacto con la plataforma niveladora.

Espesor capa: 0.03mm - 0.1mm

Acabado superficial: Superior a FDM, pero inferior a SLA

Velocidad: Uno de los procesos más rápidos.

Materiales: Ceras





### 3.6.5.2. Prototipado rápido congelado (RFP)

El modelo se genera por la deposición de agua (gota a gota o flujo continuo) en una atmósfera por debajo de su punto de fusión. El agua se va congelando conforme es depositada, formando el modelo capa a capa.

Ventajas:

Acabado superficial relativamente bueno.

Bajo coste de materias primas (agua).

Proceso rápido y limpio, sin emisión de gases.

Desventajas:

Piezas no funcionales.

Modelos efímeros a temperatura ambiente.

Baja estabilidad dimensional.

Tecnología todavía en fase experimental.

### 3.6.2. Tablas comparativas de los principales procesos de fabricación por capas.

	Base líquida		
	SLA	SGC	RFP
Ventajas:	Tecnología madura Piezas de buena calidad y precisión Geometrías complejas	Mejor acabado y precisión que SLA Piezas con mejores propiedades mecánicas	Buen acabado Barato Rápido y limpio
Desventajas:	Necesarios soportes Modelos quebradizos Resinas caras Piezas no funcionales Post procesos	Alto coste Exceso de ruido Equipo grande y pesado Necesarios soportes	Piezas no funcionales Poca precisión Fase experimental
Espesor capa:	0.005mm - 0.5mm	0.005mm - 0.5mm	
Calidad superficial:	Uno de los procesos con mejor calidad	Mejor que SLA	Relativamente buena
Velocidad	Relativamente lento	Más lento que SLA	Rápido
Materiales	Resinas fotopoliméricas: ABS, policarbonato, polipropileno, epoxi éter vinílico	Resinas fotopoliméricas (igual que SLA)	Hielo

Tabla 2: Comparativa de procesos de base sólida



	Base polvo			
	SLS	DMLS	EBM	DSPC
Ventajas:	Piezas de buenas prestaciones mecánicas Geometrías complejas Piezas funcionales No necesita soportes Más materiales	Piezas funcionales de metal macizo Elimina post-procesos	Más preciso y mejores acabados que DMLS Elimina tr. térmicos	Rápido y económico No necesita soportes Policromía Varios materiales a la vez
Desventajas:	Mayores tolerancias Peor acabado superficial Necesario nitrógeno	Tratamientos térmicos Consumo eléctrico	Precisa vacío Rayos Gamma	Piezas frágiles no funcionales Peor precisión y acabado que otros RP
Espesor capa:	0.075mm - 0.5mm	0.02mm - 0.06mm	0.05mm - 0.2 mm	0,1mm - 0,18mm
Calidad superficial:	Algo granulada y de aspecto laminado	Algo granulada	Mejor que DMLS	Inferior a otros RP
Velocidad	Similar a SLA	Algo más lento que SLS	3 a 5 más que DMLS	Bastante rápido
Materiales	Gran variedad de materiales plásticos	Aceros inoxidables y martensíticos inconel, cromocobalto Ti, Ni, Cu, W, bronce inconel, cromocobalto Ti, Ni, Cu, W, bronce	Aleaciones de titanio	Escayola, ceras, almidón, algunos aceros

**Tabla 3: Comparativa de procesos de base polvo.**

	Base sólida		
	LOM	FDM	MJM
Ventajas:	Muy rápido y barato sobre todo en piezas grandes	Rápido y económico	Muy rápido Económico Más preciso que FDM Fabricación de moldes
Desventajas:	Piezas no funcionales Necesario "decubing" Poca precisión en eje z	Piezas no funcionales Materiales limitados	Materiales limitados Modelos quebradizos Post procesos Necesarios soportes
Espesor capa:	0,05 mm - 0,5 mm	mínimo: 0,04 mm	0.03mm - 0.1mm
Calidad superficial:	Parecido a madera	Algo granulado	Superior a FDM
Velocidad	Muy rápido	Bastante rápido	Uno de los más rápidos
Materiales	Papel, poliéster, nylon-celulosa	Ceras, ABS, nylon, policarbonato, poliéster	Ceras

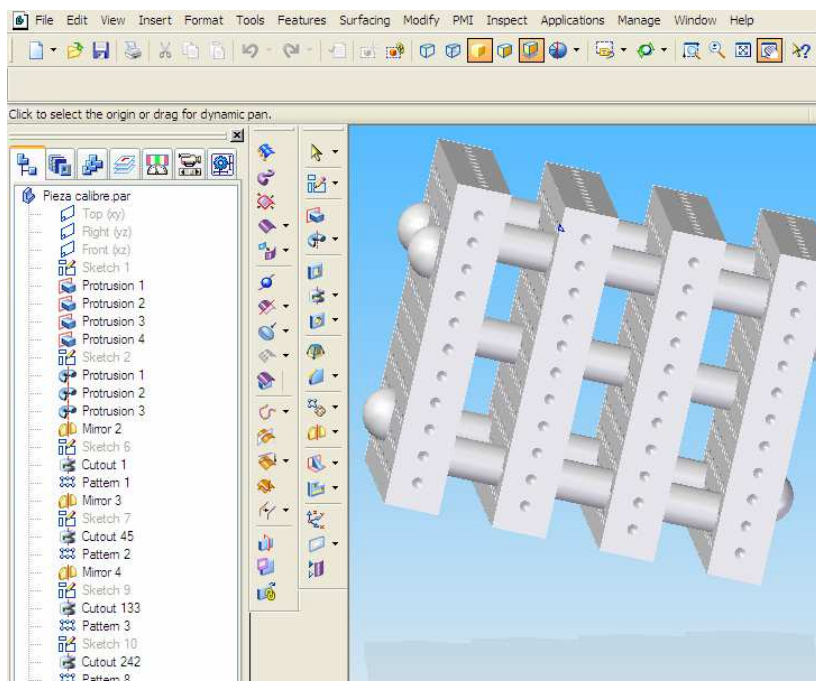
**Tabla 4: Comparativa de procesos de base sólida.**



## 4. Software utilizado

### 4.1. Solid Edge v20.

Solid Edge es un programa parametrizado de diseño asistido por ordenador de piezas tridimensionales. Permite el modelado de piezas de distintos materiales, doblado de chapas, ensamblaje de conjuntos, soldadura, funciones de dibujo en plano para ingenieros. Desarrollado en un inicio por Intergraph, hoy por hoy Solid Edge, es un componente principal del portafolio de Velocity Series™, es el sistema CAD 2D/3D híbrido más completo que utiliza Synchronous Technology para diseños más rápidos, cambios más rápidos, y una mayor reutilización de datos importados. Con un modelado de partes y ensambles superior, planos de taller, administración visible de datos, y análisis de elemento finito integrado, Solid Edge facilita la complejidad creciente del diseño del producto.



**Figura 18:** Pieza generada mediante Solid Edge, para su posterior producción como probeta de estudio.



## 4.2. POV-Ray y Stl2pov

### 4.2.1. POV-Ray

POV-Ray (Persistence of Vision Ray-tracer) es un programa de modelado tridimensional basado en la tecnología "Raytracing", consistente en un algoritmo de determinación de superficies visibles, trazando rayos desde el observador (cámara) hasta la escena a través del plano de la imagen. Se calculan las intersecciones del rayo con los diferentes objetos de la escena y aquella intersección que esté más cerca del observador determina cuál es el objeto visible. Además realiza un proceso de sombreado (cálculo de la intensidad del píxel) que tiene en cuenta efectos globales de iluminación como pueden ser reflexiones, refracciones o sombras arrojadas aumentando el realismo final de la imagen.

A diferencia de otros programas POV-Ray no utiliza un entorno gráfico para la creación de modelos y escenarios, sino que interpreta instrucciones en un lenguaje estructurado similar a C a través del cual se describen los objetos, texturas, fuentes de luz y otros parámetros.

Esto implica una interfaz poco amigable e intuitiva, por lo que el trabajo inicial resultó más costoso que con otros programas, pero una vez se sabe utilizar, ofrece un sinfín de posibilidades y unos resultados mucho más atractivos que otros software similares. Las nuevas versiones de POV-Ray incluyen un entorno de desarrollo muy práctico, con coloreado de sintaxis, menús para insertar pequeños trozos de código y visualización del renderizado en tiempo real.

Imágenes generadas por POV-Ray:

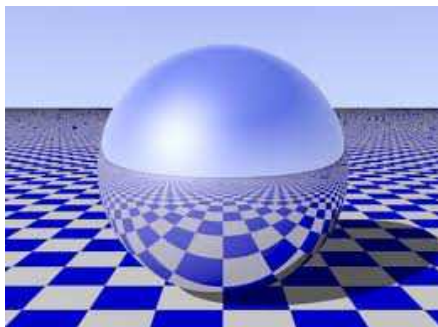


Figura 19



Figura 20



### **4.2.2. *Stl2pov***

Es una aplicación de línea de comandos que genera un mayado tridimensional interpretable por POV-Ray, desde un archivo STL (Standard Triangulation Language).

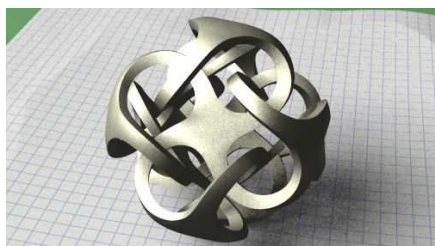
POV-Ray no dispone de interfaz gráfica para modelar las imágenes como la mayor parte de los programas de creación 3D actuales pero es capaz de interpretar ficheros de código ASCII de extensión ".pov" en los que se describe la escena. Dicho fichero texto debe contener al menos la posición y los parámetros de la fuente de luz, la cámara y los objetos. Contrariamente a otros programas más recientes en los que los objetos son definidos con uniones elaboradas de múltiples triángulos (como es el caso del formato STL), los objetos de POV son formas geométricas (esfera, cubo, cono, cilindro, toro...), operaciones entre estas formas y volúmenes definidos por distintas funciones matemáticas como isosuperficies.

La aplicación stl2pov permite transformar archivos de imagen tridimensionales definidos por facetas en forma triangular a descripciones geométricas comprensibles por POV-Ray, para poder someterlas después a un proceso de "slicing" (rebanado).

### **4.2.3. *De STL a Slices usando POV-Ray***

En este apartado se explica detalladamente el procedimiento a seguir para importar un archivo ".stl" a POV-Ray para renderizarlo dividiéndolo en secciones perpendiculares al eje Z.

El archivo que usaremos como ejemplo es el la escultura del "Metatrón" de Bathsheba Grossman, quien ha publicado el archivo STL para dominio público.



**Figura 21:** Imagen del "Metatrón", en POV-Ray.



El primer paso es instalar la utilidad stl2pov disponible en la página del autor:

<http://rsmith.home.xs4all.nl/software/>

Es un programa multiplataforma de línea de comandos.

A continuación, necesitamos un archivo STL para convertir. Podemos usar un archivo propio

Si se prefiere seguir utilizando el ejemplo del "Metatrón" podemos encontrarlo en la página del autor

<http://www.bathsheba.com/downloads/~~V>

El archivo es: metatron.zip, (3,1 MB)

Ahora que tenemos la utilidad y el archivo STL, estamos listos para realizar la conversión. El archivo de salida tras la conversión será un archivo de texto de gran tamaño con el que puede ser difícil trabajar. Por lo que es conveniente convertirlo en un archivo POV-Ray. Inc (include), editando un pequeño "wrapper" de POV-Ray que llama al archivo .inc el cual describe nuestro objeto. Para realizar la conversión de la línea de comandos, ejecute el siguiente código en el directorio con metatron.stl:

```
stl2pov -s metatron.stl > metatron.inc
```

La función "-s" activa el suavizado. Una opción que he encontrado que incrementa la fiabilidad. El comando guarda la salida en un archivo llamado "metatron.inc"

A menos que su equipo sea muy rápido, el proceso tardará unos minutos. En mi caso el archivo pesaba 28 MB. Después puede editarlo en un editor de texto específico (emacs, vi, AlphaTK ...), no el editor incorporado en POV-Ray.

El contenido de la nueva metatron.inc consiste en una definición del mallado de un objeto en POV-Ray formada por triángulos lisos. Tendrá un aspecto similar a esto:

```
#declare m_Rhinoceros_Binary_STL_Jun_15_2005__ = mesh {  
  smooth_triangle { // #1  
    <-1.56964, 0.774161, -0.360695>, <-0.898199, 0.389497, -0.20379>,  
    <-1.59137, 0.732853, -0.338752>, <-0.910102, 0.368279, -0.189959>,  
    <-1.57298, 0.776465, -0.341074>, <-0.903134, 0.383962, -0.192153>  
  }  
  smooth_triangle { // #2  
    <-1.58513, 0.728167, -0.377533>, <-0.910933, 0.36028, -0.200995>,  
    <-1.56964, 0.774161, -0.360695>, <-0.898199, 0.389497, -0.20379>,  
    <-1.56618, 0.771805, -0.379959>, <-0.892874, 0.395758, -0.214829>  
  }  
}
```



```
smooth_triangle { // #138379
    <0.486637, 0.670353, 0.431943>, <0.678163, 0.482259, 0.554546>,
    <0.451365, 0.691581, 0.456294>, <0.669205, 0.482143, 0.565423>,
    <0.480983, 0.649411, 0.456491>, <0.678073, 0.468723, 0.56614>
}
smooth_triangle { // #138380
    <0.451365, 0.691581, 0.456294>, <0.669205, 0.482143, 0.565423>,
    <0.427022, 0.675693, 0.497914>, <0.659582, 0.482502, 0.576319>,
    <0.456994, 0.655713, 0.480073>, <0.669431, 0.473142, 0.572712>
}
} //end of mesh m_Rhinoceros_Binary_STL____Jun_15_2005__
```

La frase inicial "#declare m\_Rhinoceros\_Binary\_STL\_\_\_\_..." nos indica que se trata de un objeto mallado mediante POV-Ray llamado "m\_Rhinoceros\_Binary\_STL\_\_\_\_Jun\_15\_2005\_\_", y ya está listo para que lo utilicemos. Deberemos llamar a #include "metatron.inc" para obtener el archivo y, a continuación, colocar el objeto en algún lugar. He aquí un ejemplo de código completo, para un archivo de POV-Ray (vamos a llamarlo "metatronSimple.pov")

```
//metatronSimple.pov

#include "metatron.inc"

background{color rgb 1 }

object{ m_Rhinoceros_Binary_STL____Jun_15_2005__
rotate 90*x

texture{ pigment{ color rgb <1,0.5,0> }
          finish { ambient 0.15
                    diffuse 0.85
                    specular 0.3 } } }

light_source { <-20,100,20> color rgb 2}
camera {
    perspective
    angle 35
    right x*image_width/image_height
    location <-3,7,15>
    look_at y*0.25
}
```





Aun no podemos renderizar la escultura ya que hay que tener en cuenta un pequeño detalle del que preocuparse porque el objeto mallado, en realidad no tiene un interior definido lo cual se convierte en un problema cuando se quiere pasar la estructura a slices mediante operaciones booleanas. La solución a esto es definir lo que se llama un "vector interno" que le dice a POV-Ray cual es el interior de la escultura. El vector se añade justo antes del corchete de cierre de la declaración `# declare`, en el final así:

```
inside_vector <-0.5, 0.68, 0.5>

} // end of mesh m_Rhinoceros_Binary_STL____Jun_15_2005__
```

Con esta modificación, ahora se pueden utilizar las diversas operaciones constructivas de geometría sólida en el objeto STL, incluyendo el "slicing" del mismo. Como se describe en el artículo sobre el CandyFab 4000, se trata de hacer una animación en POV-Ray para generar automáticamente las rebanadas. Para cada cuadro de la animación, tomamos la intersección del objeto de interés con un rectángulo delgado y plano, que se va elevando con cada cuadro sucesivo:

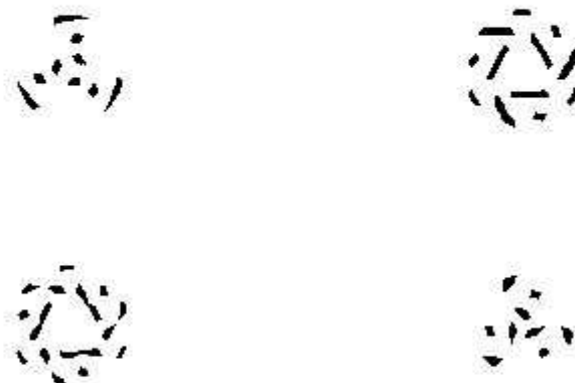
```
#if (overview)
    object { m_Rhinoceros_Binary_STL____Jun_15_2005__
    rotate 90*x }
#else
    intersection {
        object {
            m_Rhinoceros_Binary_STL____Jun_15_2005__ rotate 90*x }
        box { < -50, 0, -50>, < 50, .10833, 50>
            translate y*frame_number*0.10833 }
    }
#end // end if
```

Como se puede observar, también se ha añadido un código "switch" ("# if (resumen)") que determina si estamos cortando el objeto o simplemente queremos mostrarlo. También hay que tener en cuenta que el grosor de corte se puede elegir a voluntad propia. En nuestro caso son de 0,10833 "de  
Si sólo se desea mostrar el objeto (no transformarlo en rebanadas), POV-Ray incluye múltiples opciones para hacerlo un poco





más atractivo. Las figuras 2, 3 y 4 se generaron mediante la adición de un fondo, textura, iluminación, movimientos de cámara... Estableciendo  $\text{overview} = 0$ , ahora podemos hacer las rebanadas. Deberemos escoger la calidad y encender la animación (la variable del reloj) y configurarla para hacer 58 cuadros. Esto generará 58 archivos de imagen independientes de mapa de bits. Aquí se muestra una selección de cuatro de esas porciones:



**Figura 22: Ejemplos de slices generadas con POV-Ray.**

En realidad es difícil hacerse una idea de lo que las rebanadas representan a simple vista. Un truco es pasar rápidamente las imágenes de las rebanadas como un libro animado, o generar un vídeo con las imágenes obtenidas formando una animación que permita hacerse una idea de cómo se va generando el objeto desde su cota 0.

### 4.3. Freesteelpy

Freesteelpy es una aplicación implementada en Python que genera rebanadas desde archivos STL y las exporta en slices de diferentes formatos: \*.svg, \*.cli, \*.txt, \*.bmp, \*.jpg, \*.png...

Es una herramienta que presenta muy pocas opciones de configuración, pero resulta interesante por poder ser utilizada de manera online y gratuita desde la url:

"<http://www.freesteel.co.uk/slice.html>"



## **Ejemplo de generación de slices desde un archivo que contiene la geometría de un cubo en formato .stl:**

Configuración inicial del archivo STL:

```
solid block10
  facet normal 0 0 0
    outer loop
      vertex 0 10 10
      vertex 0 10 0
      vertex 0 0 10
    endloop
  endfacet
  facet normal 0 0 0
    outer loop
      vertex 0 0 10
      vertex 0 10 0
      vertex 0 0 0
    endloop
  endfacet
  facet normal 0 0 0
    outer loop
      vertex 10 10 10
      vertex 0 10 10
      vertex 10 0 10
    endloop
  endfacet
  facet normal 0 0 0
    outer loop
      vertex 10 0 10
      vertex 0 10 10
      vertex 0 0 10
    endloop
  endfacet
  facet normal 0 0 0
    outer loop
      vertex 10 10 0
      vertex 10 10 10
      vertex 10 0 0
    endloop
  endfacet
endfacet
```



```
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 10 0 0
    vertex 10 10 10
    vertex 10 0 10
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 0 10 0
    vertex 10 10 0
    vertex 0 0 0
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 0 0 0
    vertex 10 10 0
    vertex 10 0 0
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 10 10 10
    vertex 10 10 0
    vertex 0 10 10
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 0 10 10
    vertex 10 10 0
    vertex 0 10 0
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
    vertex 10 0 0
    vertex 10 0 10
    vertex 0 0 0
  endloop
endfacet
facet normal 0 0 0
  outer loop
```



```
vertex 0 0 0
vertex 10 0 10
vertex 0 0 10
endloop
endfacet
endsolid
```

Una vez definida la geometría de nuestro archivo, podemos pasar a la creación de slices:

Mediante el comando:

```
> slice cubel0.stl
```

Obtenemos:

```
{"xlo": 0.0, "yhi": 10.0, "xhi": 10.0,
 "zhi": 10.0, "ylo": 0.0, "zlo": 0.0}
{"n_triangles": 12, "n_points": 8,
 "n_edges": 28, "n_unmatched_edges": 0}
{"flat_area_z": [0.0, 10.0]}
```

Para crear una única rebanada en  $Z = 5$  con un radio de herramienta de 1mm y un grosor de rebanada de 0.1mm.

```
> slice -layer=0.1 -r1 -f0 cubel0.stl
```

El programa devuelve:

```
{"z": 5.0, "polygons": [{"points": [[-
0.9078014184397163, -0.4194002678573765],
[-0.911478589796249, -0.4113475177304966], [-
0.9500634676302036, -0.312056737588
6527], [-0.9771031917621306, -0.2127659574468086], [-
0.9935408316398511, -0.1134
7517730496448], [-0.9998993963780151, -
0.014184397163120366], [-1.0, 0.085106382
9787233], ..., [-0.792456004957226, -
0.6099290780141844], [-0.
8085106382978724, -0.5884815611038012], [-
0.8597956319649682, -0.510638297872340
3], [-0.9078014184397163, -0.4194002678573765]]],
"type": "core"]}]}
```



La forma obtenida es la de un cuadrado de 12 mm de ancho con 1mm de radio de redondeo en las esquinas, ya que se ha generado con un disco de radio 1. Si se desea el corte en la superficie, la forma debe ser devuelta a su estado original mediante la función -f-1

No se puede cortar una superficie perfectamente plana, puesto que el resultado sería ambiguo, por lo que el programa mueve ligeramente la posición Z.

```
> slice -z10 cube10.stl
```

Devuelve:

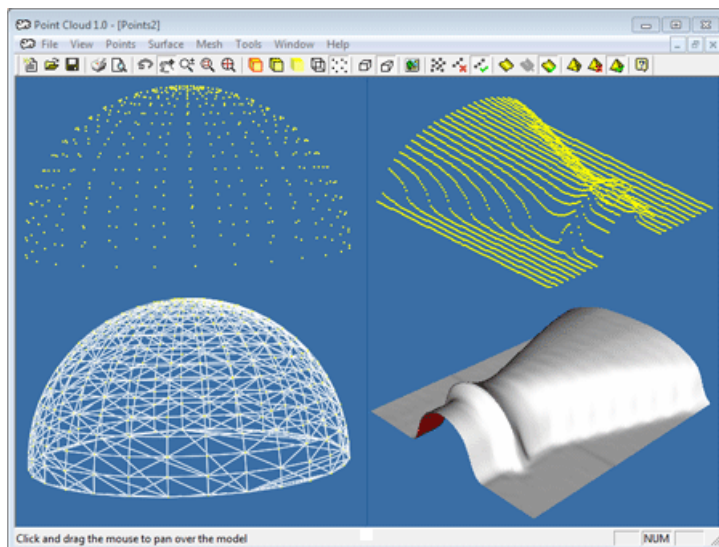
```
{"z":10.0075, "polygons": []}
```

Para crear una silueta, basta con establecer el valor z por debajo de la z máxima para el modelo y el espesor de la capa mayor que la altura del modelo.



## 4.4. Point Cloud

Point Cloud 1.0. es un programa desarrollado por Floating Point Solutions Private Limited. Consiste en un software de ingeniería inversa utilizado para procesar nubes de puntos. Permite reconstruir una malla triangular sobre una nube de puntos o cubrir una superficie a través de los puntos. Una nube de puntos se puede crear mediante el escaneo de la superficie de un objeto (mediante un escáner de superficie) o mediante la exploración de todo el sólido (mediante un escáner de sólidos). Point Cloud es capaz de interpretar ambos casos aplicando distintos procesos. También tiene la capacidad de compensar el error inherente a los escáneres de sonda con respecto a su diámetro de manera muy eficiente.



**Figura 23: Ejemplo de nubes de puntos generadas en PointCloud desde dos archivos en formato STL.**



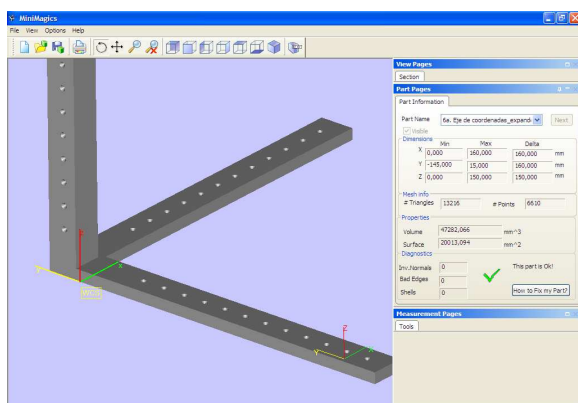
## 4.5. Materialise

Materialise es una empresa que lleva ya más de 20 años en el desarrollo e implantación de tecnologías de prototipado rápido, tanto en la creación de hardware cada vez más preciso y versátil como en el desarrollo de software inherente a estas tecnologías. A continuación se exponen varios de los programas de la casa Materialise que han sido utilizados en el proyecto.

### 4.5.1. Minimagics 2.0

Minimagics es un visor de archivos en formato STL que nos permite visualizar dichos archivos sin necesidad de contar con el software en el que fueron creados. Resulta muy recomendable para entornos de producción, en los que pueda ser necesario compartir un diseño tanto clientes como con otros departamentos de la planta o implicados en su desarrollo y manufactura. Las funcionalidades de este programa van más allá de la mera visualización, ya que permite a los usuarios de la aplicación incluso realizar diferentes secciones, detección de bordes mal triangulados, hacer mediciones y anotaciones sobre el propio diseño, quedando esos cambios reflejados si guardamos el archivo.

MiniMagics también cuenta con una opción de compresión de archivos en formato STL llegando a archivos hasta 20 veces menores que los originales. Una herramienta muy práctica para el almacenamiento de un gran número de ellos.



**Figura 24:** Imagen del programa Minimagics 2.0 mostrando una de las piezas de control en formato STL.



### **4.5.2. Geomagic Studio**

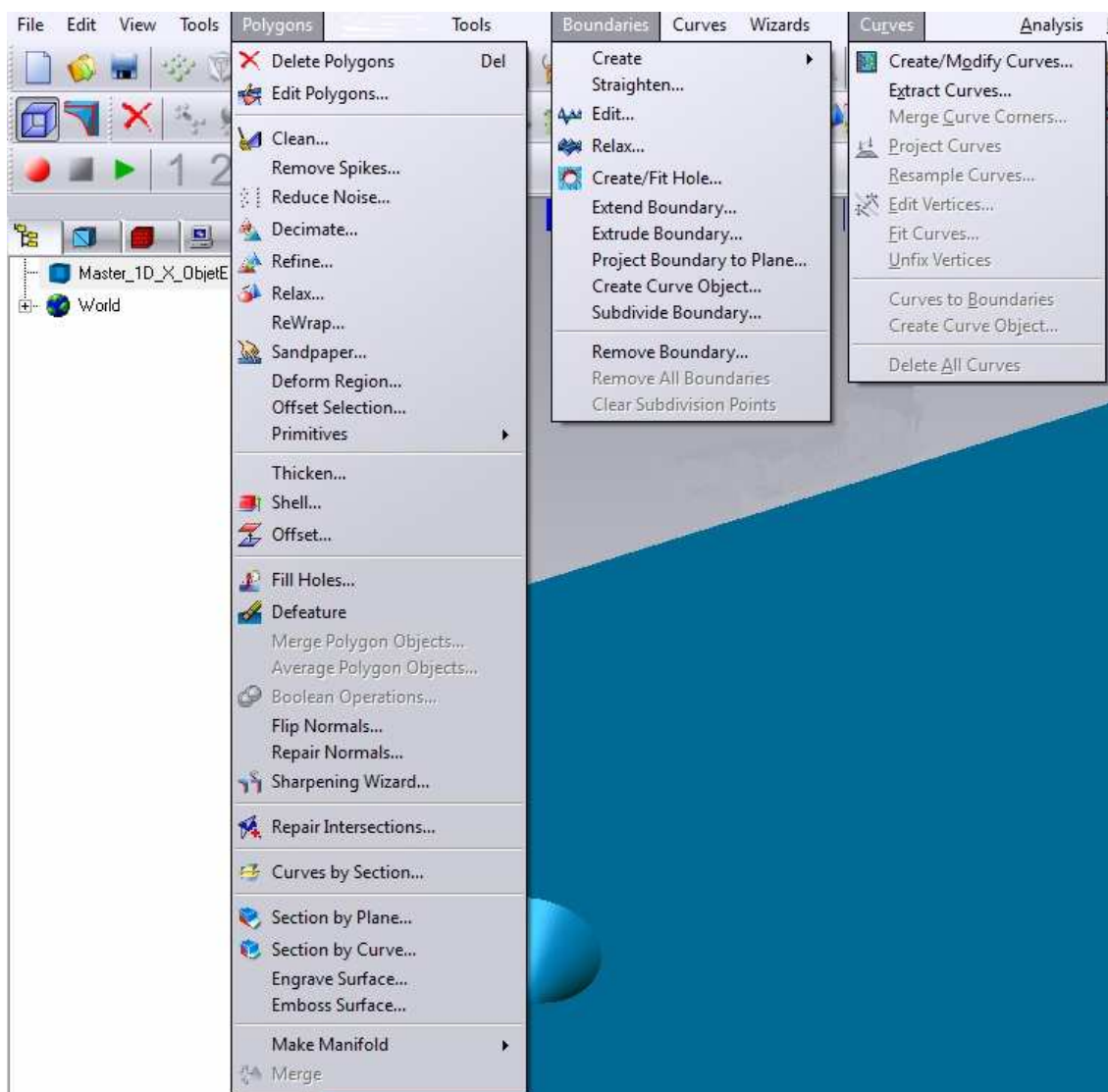
Geomagic Studio ofrece una de las soluciones más completas del sector para la transformación de datos escaneados y de sonda 3D, y mallas poligonales en 3D en modelos digitales con superficies modeladas, muy precisos, para la ingeniería, el diseño de productos, la creación de prototipos y la fabricación.

Permite convertir datos escaneados en 3D en modelos CAD 3D y paramétricos, proporciona una gran cantidad de características que revolucionan el modelado de contenido digital y el proceso de fabricación.

Características principales de Geomagic Studio:

- Procesamiento preciso de datos escaneados y de sonda en 3D de alta calidad, compatible con todos los sistemas estándar de medición.
- Integra datos en 3D precisos y basados en el historial en sistemas CAD paramétricos para su uso inmediato en el diseño.
- La solución más fácil de utilizar del sector con herramientas inteligentes y automatizadas para la visualización y transformación de datos del punto de enturbiamiento en datos 3D utilizables.
- Exportación de datos 3D de gran calidad en todos los formatos principales NURBS y poligonales neutros para su uso inmediato en fases posteriores del proceso.
- Disponible en 9 idiomas





**Figura 25: Imagen del programa Geomagic Studio con sus principales herramientas.**

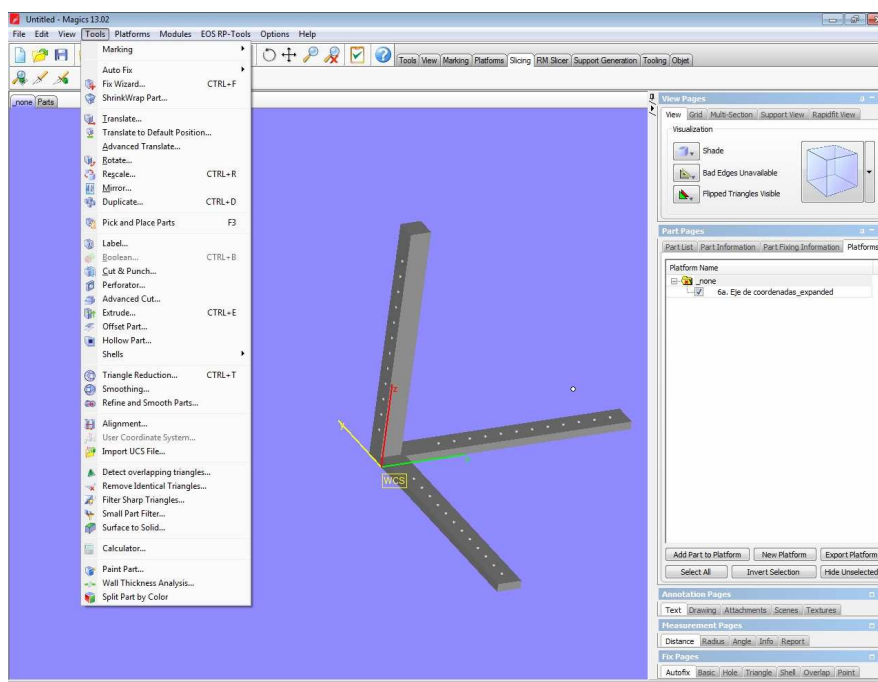


## 4.5.3. Magics

Magics es uno de los software más completos actualmente en la industria para preparación y reparación de archivos para procesos de fabricación aditiva por capas. Repara de manera automática un gran número de defectos en archivos STL tales como triángulos desunidos, bordes o huecos.

Además permite:

- Añadir logos, números de serie u otros marcadores, aplicar texturas mediante la importación de un archivo de imagen en la superficie de su modelo
- Realizar operaciones booleanas para agregar o eliminar volúmenes
- Agregue piezas huecas para ahorrar en los costos de materiales y disminuir la acumulación de tiempo
- Optimizar el posicionamiento de la pieza para una mejor producción.
- Generar estructuras de soporte necesarias en algunos tipos de tecnologías de fabricación por capas.



**Figura 26:** Imagen del programa Magics mostrando una de las piezas de control en formato STL y un desplegable con algunas de sus herramientas.

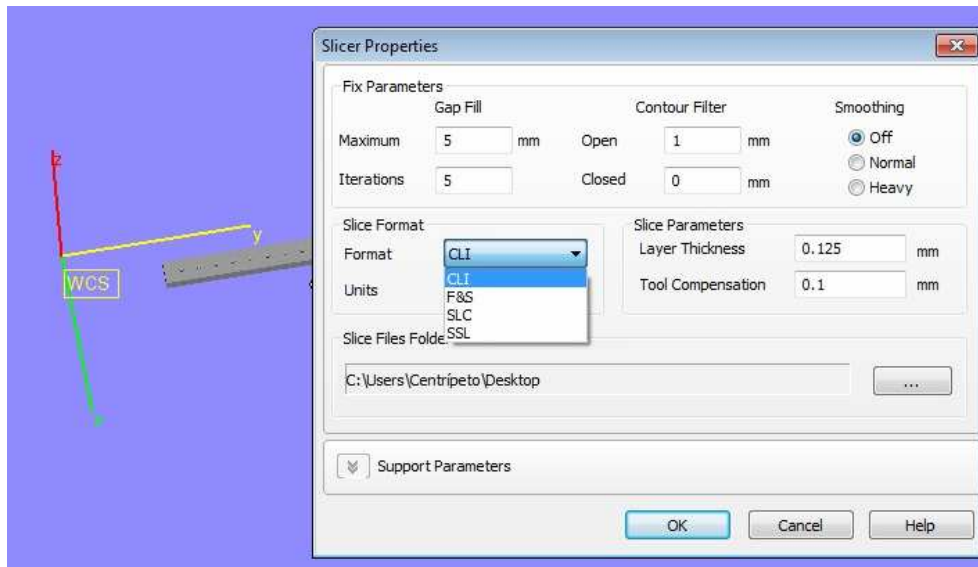


Figura 27: Modulo de slicing del programa Magics.

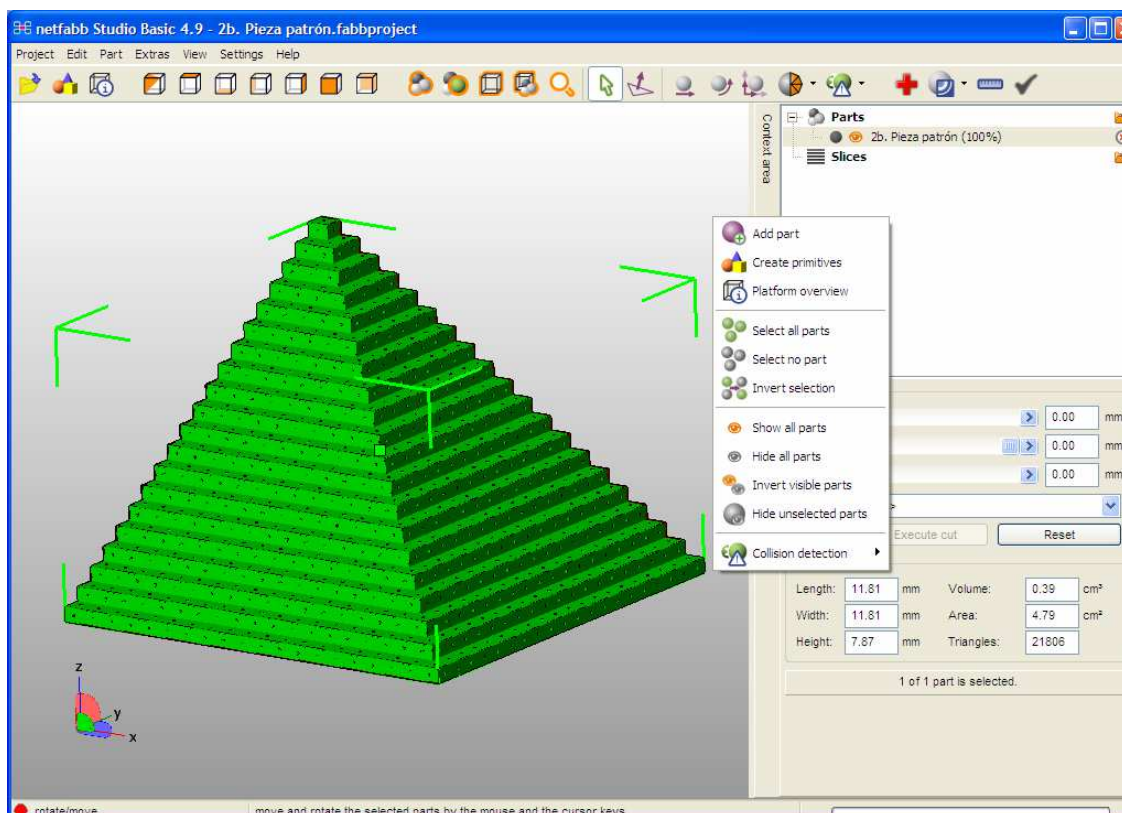
## 4.6.Netfabb Studio Basic

Netfabb Studio Basic es un software gratuita y disponible para las Windows, Linux y Mac.

No es sólo un visualizador de archivos sino que además ofrece edición y reparación de mallado.

Su tamaño reducido de tan sólo unos megabytes permite una descarga rápida, de fácil instalación y manejo de archivos STL y slices en cuestión de segundos. Debido a su diseño modular, Netfabb Studio Basic incluye una variedad de funciones útiles además de ofrecer una visualización rápida y efectiva.

Una de las principales ventajas de este programa es su interfaz la cual comparte muchos rasgos similares con la del Netfabb Studio Professional (la versión de pago) y con la que es muy fácil e intuitivo trabajar.



**Figura 28: Imagen del programa Netfabb Studio mostrando una de las piezas de control en formato STL.**

Uno de los principales puntos fuertes de este programa (por lo menos en cuanto a lo que este proyecto se refiere) es su módulo de generación de slices desde STL. El cual permite diferentes opciones de control así como distintos formatos de salida en la versión Pro, y una interfaz de visualización de slices muy cómoda de utilizar. Puesto que no se disponía de presupuesto para adquirir la versión de pago, no se le ha podido sacar todo el rendimiento que este software ofrece, ya que la versión Basic entre otros defectos, no permite la exportación de slices en ningún tipo de formato y sólo su visualización. No obstante sí que ha sido útil a la hora de comprobar mediciones y utilizarlo como herramienta de verificación.

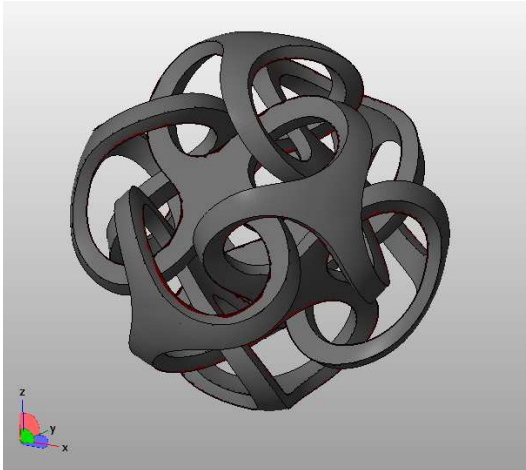


Figura 29: Imagen de archivo STL antes del slicing

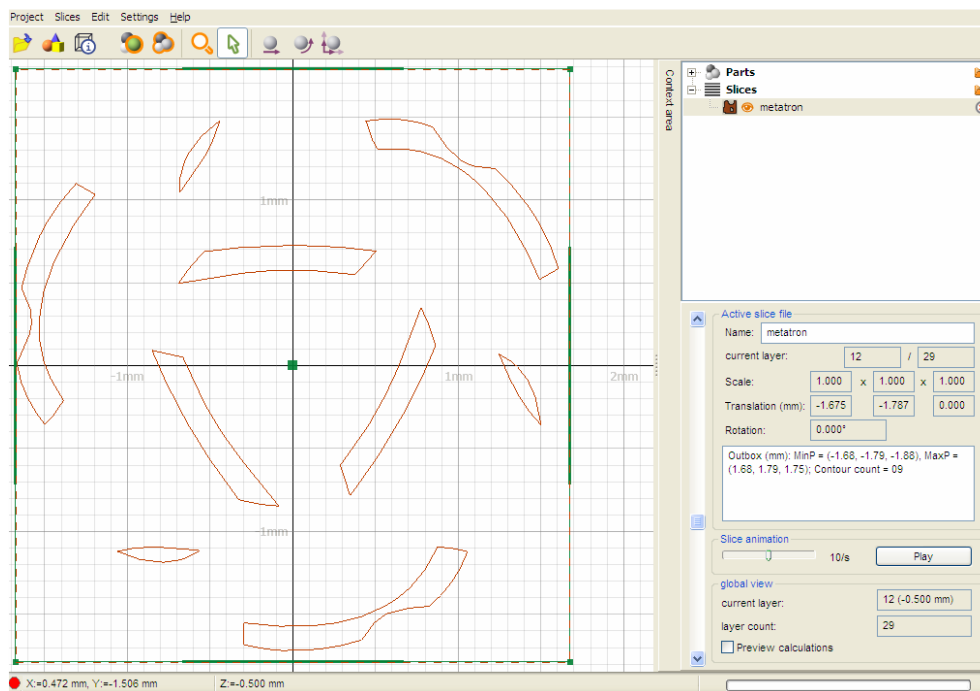


Figura 30: Imagen de la utilidad de slicing de Netfabb, en el que se está visualizando una de las rebanadas del archivo mostrado en la figura 9



## 4.7. Marcam engineering

Marcam Engineering es una compañía situada en el parque tecnológico de la Universidad de Bremen en Alemania, dedicada al desarrollo de soluciones profesionales de software para las tecnologías de fabricación por capas. Fue fundada en 2001 como una spin-off del Instituto de Bremen para la Producción y Logística (BIBA), y ha estado fuertemente involucrada con las tecnologías de fabricación por capas como pionero desde 1989.

Es una compañía especializada en el desarrollo de software CAD / CAM, así como en el uso de las tecnologías de prototipado rápido las cuales abarcan desde las técnicas como la impresión 3D, prototipado rápido y fabricación rápida.

Bajo el nombre del producto VisCAM, Marcam Engineering desarrolla y comercializa software estándar de preparación de datos para las tecnologías de fabricación por capas. La línea de software VisCAM contiene productos para la reparación y edición de STL, así como para preparar los datos de construcción para su posterior producción.

### 4.7.1. VisCAM Mesh

VisCAM Mesh es un software que permite realizar todo tipo de modificaciones y reparar mallados en archivos STL.

Permite detectar y reparar errores y defectos de manera rápida y fácil. Por otra parte permite realizar modificaciones directas en los archivos sin la necesidad de tener que volver al archivo CAD para modificarlo y generar un nuevo STL.

Permite importar archivos en formatos STL, 3DS, VRML, DXF, PLY, ZPR y VFX, además muestra de manera automática bordes problemáticos, hoyos, triángulos y sólidos y realiza cálculos de dimensiones.

Cuenta también con una utilidad para inspeccionar el sólido internamente

Opciones de reparación de STL:

- Unión automática de los bordes de triángulos no conectados
- Llenado automático de agujeros, huecos y superficies que faltan
- Detecta y resuelve las intersecciones y superposiciones de triángulos





- Detección y unión booleana de sólidos superpuestos
- Alineación de normales en triángulos volteados
- Reducción exacta, suavizado y filtrado de los triángulos
- Cortar y dividir el modelo a lo largo de planos de corte definidos
- La exportación de STL, VRML, DXF, OBJ, PLY, ZPR y VFX

Opciones de manipulación y edición de STL:

- Edición y manipulación de sólidos, superficies y triángulos
- Operaciones booleanas tridimensionales (unión, intersección, diferencia)
- Funciones de extrusión
- Adjuntar textos, logos o mapas de bits con el modelo
- Crear, alinear y conectar sólidos base al modelo
- Recortar, cortar y perforar las mallas con polilíneas definibles
- Cálculo y generación de modelos sin errores huecos
- Edición y manipulación de los colores de los triángulos
- La exportación de colorantes para STL, VRML, PLY archivos y ZPR

### **4.7.2. VisCAM RP**

Además de todas las opciones en cuanto a edición de mallado presentes en el programa VisCAM Mesh, el software VisCAM RP abarca más fases del proceso, como la generación de estructuras de soporte, ensamblaje de distintos objetos y la visualización y procesamiento de

VisCAM RP is not only limited to process STL files, but also offers the integrated generation, visualisation and processing of slice files. The unrivalled number of interfaces and supported file formats enables you to generate build data for nearly all available RP machines. The flexible system concept together with the full control of your model and build data at any time makes VisCAM RP the optimal software solution for your RP data preparation.

Entre las posibilidades que ofrece se encuentran las de:

Generar secciones de un modelo

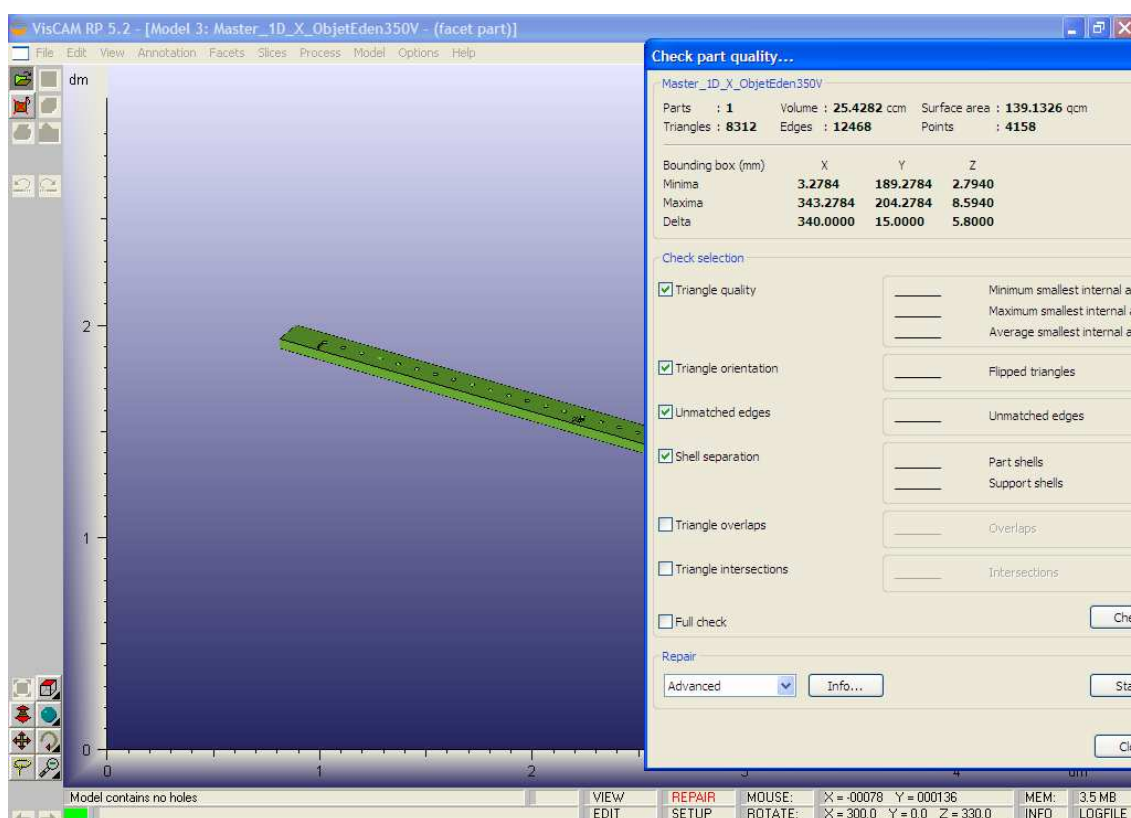
Generar estructuras reticulares

Generar estructuras de soporte

Configurar puestos de trabajo

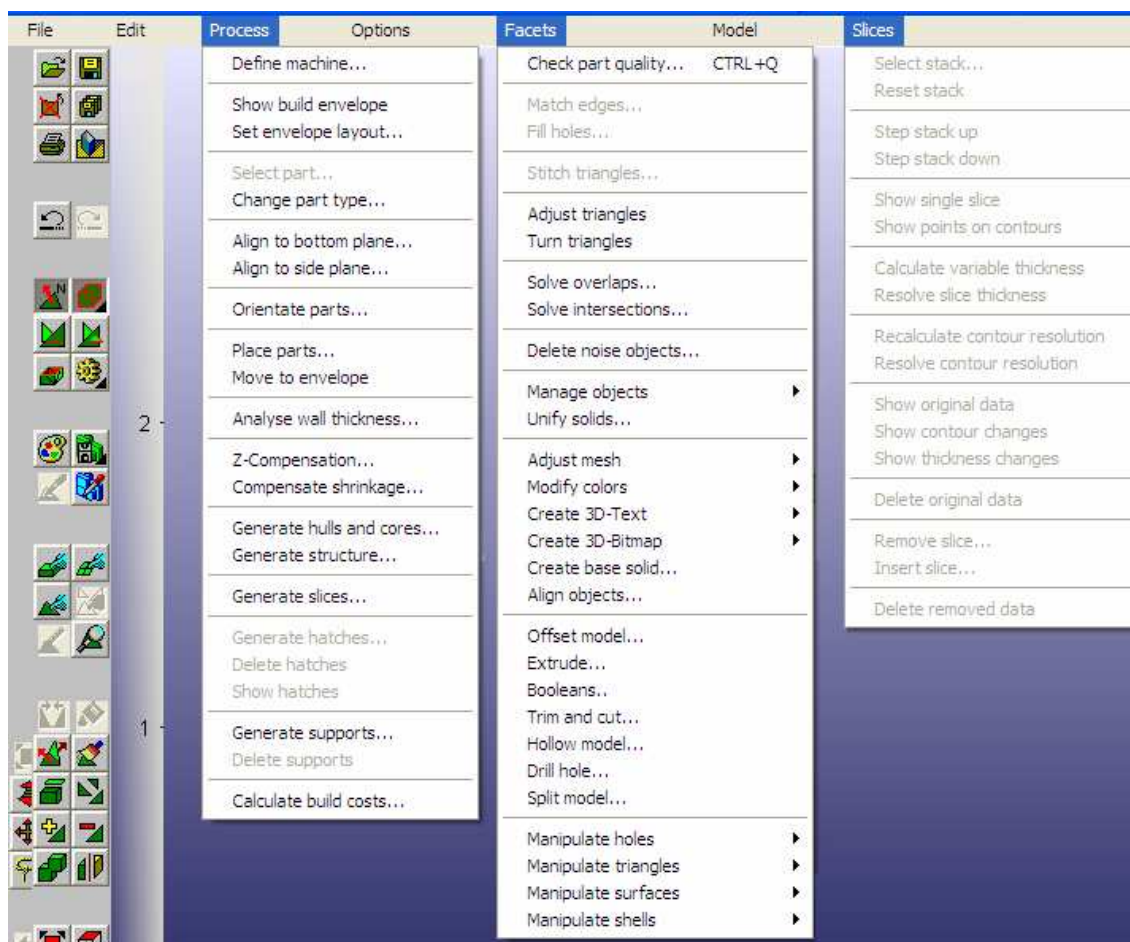


Herramientas para el control de la orientación más óptima  
Base de datos integrada con más de 200 máquinas de RP  
Generación de slices desde STL  
Exportación de slices en distintos formatos: CLI, SLC, F & S, SSL, SLI



**Figura 31: Imagen que muestra una captura de pantalla del programa VisCAM RP durante el proceso de reparación automática del mallado de un archivo STL**





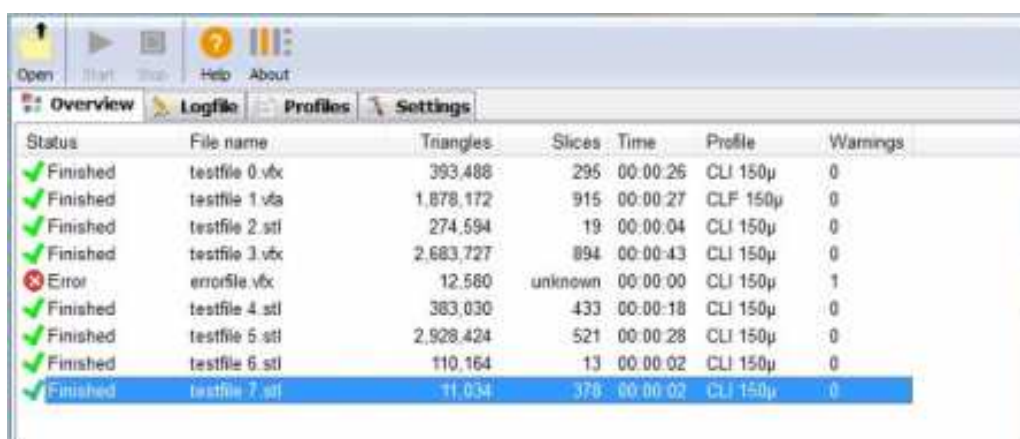
**Figura 32: Captura de pantalla que muestra las principales opciones y aplicaciones del programa VisCAM RP.**



### 4.7.3. InfinySlice

InfinySlice es un software que consume muy pocos recursos y permite generar slices desde archivos STL de manera rápida y efectiva. Permite programar distintos perfiles de salida de slices configurando parámetros tales como el tipo de formato, o el espesor de capa.

Una vez definidos los distintos perfiles que queremos utilizar, basta con añadir los distintos archivos que queremos convertir a slices a la lista de espera del programa y proceder a su conversión automática.



Status	File name	Triangles	Slices	Time	Profile	Warnings
✓ Finished	testfile 0.vox	393,488	295	00:00:26	CLI 150µ	0
✓ Finished	testfile 1.vox	1,878,172	915	00:00:27	CLF 150µ	0
✓ Finished	testfile 2.stl	274,594	19	00:00:04	CLI 150µ	0
✓ Finished	testfile 3.vox	2,683,727	894	00:00:43	CLI 150µ	0
✗ Error	errorfile.vox	12,580	unknown	00:00:00	CLI 150µ	1
✓ Finished	testfile 4.stl	383,030	433	00:00:18	CLI 150µ	0
✓ Finished	testfile 5.stl	2,928,424	521	00:00:28	CLI 150µ	0
✓ Finished	testfile 6.stl	110,164	13	00:00:02	CLI 150µ	0
✓ Finished	testfile 7.stl	11,034	376	00:00:02	CLI 150µ	0

Figura 33: Captura de pantallas de la lista de espera del programa InfinySlice.



## 5. Conclusiones y líneas futuras de desarrollo

La manufactura por capas (LM) hace referencia a un grupo de tecnologías de reciente desarrollo (20 años) que rápidamente se ha convertido en una importante tecnología de fabricación. Una prueba de ello es el crecimiento en ventas, tanto de equipos como de servicios y productos terminados mediante estas tecnologías.

En determinadas aplicaciones ha llegado a desplazar a los procesos tradicionales y ha permitido el desarrollo de técnicas que no habrían sido posibles hasta la fecha sin el desarrollo de esta tecnología.

El mundo entero, liderado por los países más industrializados, ha venido acompañando el desarrollo de LM y cada vez más países se van vinculando a esta iniciativa.

Las aplicaciones y beneficios de LM no solo son incontables sino que continúan creciendo a un ritmo vertiginoso.

No obstante, sigue sin ser una tecnología madura, y prueba de ello es la escasez de información y software al respecto, y el conflicto todavía existente entre diversos tipos de formatos de exportación de imágenes en 3D.

La transformación en slices desde archivos STL sigue generando errores que son necesarios depurar manualmente.

Por otra parte, el STL a diferencia de los formatos CAD, no traza superficies parametrizadas, sino que realiza una aproximación mediante polígonos. De este modelo aproximado, se generan slices con su consiguiente error de escalera. Por lo que por mucho que se afine en el desarrollo de máquinas cada vez más precisas, y programas para depurado con mejores algoritmos de transformación, el resultado obtenido siempre pasará a ser aproximado.

Desde mi punto de vista, el futuro de estos sistemas pasará por encontrar un formato estandarizado de modelado en 3D que elimine esto problemas, así como un software que automáticamente realice los ajustes pertinentes sin necesidad de realizar inspecciones manuales en el mallado posteriormente.

En pocas palabras, se debe conseguir que los sistemas de impresión 3D resulten tan sencillos de usar como cualquier impresora 2D de la actualidad.



## 6. Bibliografía

### Páginas web:

- <http://www.evilmadscientist.com/2007/slicing-stl-files-in-pov-ray/>
- <http://www.freesteel.co.uk/wpblog/slicer/>
- <http://es.wikipedia.org>
- <http://www.geomagics.com>
- [http://www.sycode.com/products/point\\_cloud/index.htm](http://www.sycode.com/products/point_cloud/index.htm)
- <http://rbytes.net/software/point-cloud-review/>
- <http://www.materialise.com/>
- <http://www.netfabb.com/>
- <http://www.marcam.de>
- <http://www.caddyspain.com>
- <http://www.3dsystems.com/>
- <http://desktopfactory.com/>
- <http://www.google.es/>

### Documentos:

- Rapid Prototyping: State of the art (Douglas Freitag)
- Fundamentos de fabricación rápida de prototipos (Universidad EAFIT)
- Sistemas de prototipado rápido (José Antonio Alonso Rodríguez)
- Integración tecnológica de prototipado rápido dentro del laboratorio de manufactura integrada por ordenador (Alfonso Ignacio Toro)



## Anexo A.

### ***Materiales LM (estado inicial y final)***

Empresa	Designación del material		Estado líquido			
			Densidad Líquida @25°C	Viscosidad @30°C	Profundidad penetración	Exposición Crítica
			(g/cm <sup>3</sup> )	(cps)	(μm)	(mJ/cm <sup>2</sup> )
Sony / D-MEC	SCR®	701	1.13	340 <sup>2</sup>	191	33
		710	1.19	500 <sup>2</sup>	135	13
		735	1.13	470 <sup>2</sup>	160	23
		740	1.13	430 <sup>2</sup>	120	16
		11120	1.12	260	160	12
		751	1.13	360 <sup>2</sup>	139	20
		950	1.1	590 <sup>2</sup>	79	5
		9100	1.11	560	130	6.8
		9120	1.13	450	140	10.9
	802	1.59	480 <sup>2</sup>	152	9	
3DSsystems	ACCURA®	25 plastic	1.14	250	107	10.5
		50 plastic	1.15	600	114	9.0
		60 plastic	1.13	150-180	160	7.6
		45HC plastic	1.14	475	130	7.4
		Bluestone plastic	1.7	1200-1800	104	6.9
		Amethyst	1.1	350	94	14.4
		SI 10 viper	1.1	485	160	13.8
		SI 10 7000	1.1	485	173	15.5
		SI 40 (Nd) viper	1.1	485	168	21.7
		SI 40 (Nd) 7000	1.1	485	173	20.1
		SI 40 (Hc / Ar) 250	1.1	485	120	13.9
		SI 40 (Hc / Ar) 500	1.1	485	107	11.3
		Accugen (Nd)	1.1	500	112	10.8
		Accugen (Hc / Ar) 250	1.1	485	100	7.27
		Accugen (Hc / Ar) 500	1.1	485	112	7.4
Accudur	1.1	485	127	13.2		

<sup>2</sup> @25°C

<sup>2</sup> @25°C

**TABLA A1. Propiedades de las resinas fotosensibles de 3DSsystems y Sony / D-MEC para SLA, en estado líquido**



Material		Estado terminado / Propiedades mecánicas						
		Resistencia a la tensión	Módulo de elasticidad	Elongación a fluencia	Resistencia a la flexión	Módulo de flexión	Resistencia al impacto izod	Dureza
		ASTM D638	ASTM D638	ASTM D638	ASTM D790	ASTM D790	ASTM D256	ASTM D2240
		(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(J/m)	(ShoreD)
SCR®	701	75	3300	6	104	3100	25-27	87
	710	66	2700	10	85	2500	32-38	81
	735	45	2510	6.8	83	2530	29-33	-
	735 <sup>3</sup>	67	2720	6	97	2570	34-39	-
	740 <sup>4</sup>	62	3000	3	110	2800	29	-
	11120	47	2650	20	63	2040	30	81
	751	80	3400	5	115	3300	-	88
	950	51	2000	8	75	2600	-	85
	9100	28-32	1100-1400	14-17	42-62	1200-1500	32-43	-
	9120	30-32	1200-1500	15-25	41-46	1300-1600	48-53	-
	802 <sup>5</sup>	85	9200	2	120	8900	-	92

<sup>3</sup> postcurado

Tabla A2: Propiedades mecánicas de los fotopolímeros de SLA de Sony / D-MEC, en estado sólido.

Materiales		Estado terminado / Propiedades mecánicas						
		Resistencia a la tensión	Módulo de elasticidad	Elongación a fluencia	Resistencia a la flexión	Módulo de flexión	Resistencia al impacto izod	Dureza
		ASTM D638	ASTM D638	ASTM D638	ASTM D790	ASTM D790	ASTM D256	ASTM D2240
		(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(J/m)	(ShoreD)
ACCURA®	25	38	1590-1660	13-20	55-58	1380-1660	19-24	80
	50	48-50	2480-2690	5.3-15	72-77	2210-2340	16.5-28.1	86
	60	58-68	2690-3100	5-13	87-101	2700-3000	15-25	86
	45HC	59-61	2760-2960	4.8-5.4	94-101	2760-2900	11-16	87
	Bluestone	66-68	7600-11700	1.4-2.4	124-154	8300-9800	13-17	92
	Amethyst	22-38	3514-3996	0.56-1.04	87-125	3652-3721	9-12	87
	SI 10 viper	62-63	3048-3255	3.1-5	89-97	2827-3102	18.7-27.7	86
	SI 10 7000	72-76	3186-3532	4.9-5.6	109-115	2978-3186	14.9-17.1	86
	SI 40 (Nd) viper	57.2-58.7	2628-3321	4.8-5.1	93.4-96.1	2836-3044	22.5-27.2	82
	SI 40 (Nd) viper <sup>4</sup>	73.9-74.2	2906-3321	4.8-5.1	116.2-118.3	3113-3182	22.5-30.9	84
	SI 40 (Nd) 7000	61.5-61.7	2840-3048	4.9-5.1	92.8-97	2618-2756	22.3-29.9	86
	SI 40 (Nd) 7000 <sup>4</sup>	69.6-73.8	2909-3186	4.7-6.4	106.7-110.1	2840-2909	22.3-29.9	86
	SI40(Hc/Ar) 250	64.9-65.7	3169-3238	4.4-5.5	106.7-110.2	3169-3238	16.6-18.7	90
	SI40(Hc/Ar) 250 <sup>4</sup>	75.2-75.7	3100-3309	5.3-8.2	110.9-112.3	3100-3186	12.8-23	90
	SI40(Hc/Ar) 500	61.5-62.2	2840-3048	4.1-4.3	101.8-106.7	3186-3255	22.3-29.9	87
	SI40(Hc/Ar) 500 <sup>4</sup>	75-76.7	3047-3532	5.9-7.5	117-119.1	3186-3255	22.3-29.9	87
	Accugen(Nd)	67	3030	4.6	79	1930	17.1	82
	Accugen(Hc/Ar) 250	64-65	2840-3117	4.6-5.6	91-92	2494-2632	20.2-24.5	86
	Accugen(Hc/Ar) 500	55-57	2701-2978	5.8-7.8	80-83	2147-2286	20.2-21.3	84
	Accudur	50	2280	15	63	1720	25.1	82

<sup>4</sup> postcurado

Tabla A3: Propiedades mecánicas de los fotopolímeros de SLA de 3DSystems en estado sólido





Materiales		Temperatura de deflexión		Coeficiente de expansión térmica		Temperatura de transición vítrea – T <sub>g</sub>
		ASTM D648		ASTM E831-93		ASTM D3418
		(°C)		(µm/m°C)		(°C)
		@66psi	@264psi	T<T <sub>g</sub>	T>T <sub>g</sub>	
ACCURA®	25	58-63	51-55	107	151	60
	50	49-53	43-46	73	164	62
	50 <sup>2</sup>	74-80	-	-	-	-
	60	53-55	48-50	71	153	58
	45HC	58	51	72	160	66-87
	45HC <sup>2</sup>	103	-	-	-	-
	Bluestone	65-66	65	33-44	81-98	71-83
	Bluestone <sup>2</sup>	267-284	-	-	-	-
	Amethyst	77	62	57	133	103
	SI 10 viper	56	46	63.7	175	61.7
	SI 10 7000	59	53	63.6	164	61.7
	SI 40 (Nd) viper	51	43	99.6	185	65.6
	SI 40 (Nd) viper <sup>2</sup>	101	82	60.6	167	74.9
	SI 40 (Nd) 7000	54	49	73.5	188	82
	SI 40 (Nd) 7000 <sup>2</sup>	114	89	61.7	189	72
	SI40(Hc/Ar) 250	61	55	61	147	76
	SI40(Hc/Ar) 250 <sup>2</sup>	120	105	53.7	103	99
	SI40(Hc/Ar) 500	54	49	89.2	190	75.9
	SI40(Hc/Ar) 500 <sup>2</sup>	114	89	60.6	157	90
	Accugen(Nd)	-	-	72	176	73
	Accugen(Hc/Ar) 250	59	50	69.5	107	40
	Accugen(Hc/Ar) 500	57	51	62	108	40
	Accudur	-	-	79	174	54

<sup>2</sup> postcurado

TABLA A4. Propiedades térmicas de los fotopolímeros de SLA de 3DSsystems, en estado sólido.

Material		Material sólido particulado						
		Propiedades físicas					Propiedades térmicas	
		Densidad	Tamaño medio	Distribución tamaño 90%	Peso específico	Absorción humedad	Punto fusión	Temperatura Deflexión <sup>11</sup>
		ASTM D4164	Difracción láser	Difracción láser	ASTM D792 @20°C	ASTM D570 @23°C	DSC	ASTM D648
		(g/cm <sup>3</sup> )	(µm)	(µm)	(g/cm <sup>3</sup> )	(%)	(°C)	(°C) @66psi @264psi
Dura Form®	PA <sup>9</sup>	0.59	58	25-92	0.97	0.41	184	177 86
	GP <sup>9</sup>	0.84	48	10-96	1.4	0.3	185	175 110
	EX <sup>9</sup>	-	-	-	1.01	0.48	-	188 48
	FLEX <sup>9</sup>	0.44	85	21-138	-	-	192	- -
	AF <sup>9</sup>	0.69	-	-	-	-	-	180 137
Laser Form®	A6 <sup>10</sup>	-	-	-	7.8	-	-	- -
	ST100 <sup>10</sup>	-	-	-	7.7	-	-	- -
	ST200 <sup>10</sup>	-	-	-	6.7	-	-	- -
CastForm <sup>9,9</sup>		0.46	62	25-106	0.86	0.06	<63	33 40
Somos201 <sup>9</sup>		0.58	93	23-190	0.91	-	156	- -

<sup>9</sup> polimérico, <sup>10</sup> metálico, <sup>11</sup> propiedad en estado terminado

Tabla A5. Propiedades del material en polvo de 3DSsystems para procesos de SLA



Material		Estado terminado / Propiedades mecánicas							
		Resistencia a la tensión	Módulo de elasticidad	Elongación a fractura	Módulo de flexión	Resistencia al impacto izod		Acabado superficial cara superior	
		ASTM D638	ASTM D638	ASTM D638	ASTM D790	ASTM D256			
		(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(J/m)			
Con entalla	Sin entalla					Sin pulir	Pulido		
Dura Form®	PA	44	1600	9	1295	214	429	9.5	0.13
	GP	38.1	5910	2	3300	96	101	6.2	1
	EX	37	1517	47	1310	64	>854	-	-
	FLEX	1.8	7.4	110	5.9	-	-	-	-
	FLEX <sup>12</sup>	2.3	9.2	151	7.8	-	-	-	-
	AF	35	3960	1.5	3517	-	130	-	-
Laser Form®	A6	610	138000	2.4	-	-	-	-	-
	ST100	510	137000	10	-	-	-	-	-
	ST200	435	137000	6	-	-	-	-	-
CastForm®		2.84	1604	-	-	<11	14	13	3
Somos201		-	15.5	110	13.4	-	-	-	-
Somos201 <sup>12</sup>		-	17.3	130	14.1	-	-	-	-

<sup>12</sup> infiltrado

**TABLA A6. Propiedades mecánicas de los polvos sinterizados de SLS de 3DSystems, en estado sólido**

Propiedad		Material Helisys SMS <sup>®</sup> 042
Espesor hoja	(mm)	1
Densidad	(g/cm <sup>3</sup> )	0.9
Coeficiente expansión Térmica	(μm/m°C)	N <sup>13</sup> 185
		P <sup>14</sup> 4
Resistencia interna hoja	(J)	390
Resistencia interlaminar	(N/m)	151
Resistencia a la tensión	(MPa)	N 1.4
		P 26
Módulo de elasticidad	(MPa)	N -
		P 2524
Resistencia compresión	(MPa)	N 115
		P 15
Módulo de compresión	(MPa)	N 0.4
		P 2.2
Elongación a compresión	(%)	N 40.4
		P 1.01
Temperatura Transición Vítrea	(°C)	30
Temperatura de deflexión	(°C)	77

**TABLA A7. Propiedades del principal material LOM de Helisys (EEUU), propiedades de la lámina y de la pieza**





Material	Estado terminado / Propiedades mecánicas y térmicas						
	Resistencia a la tensión	Módulo de elasticidad	Elongación a fractura	Módulo de flexión	Resistencia al impacto izod	Temperatura de deflexión	Temperatura de transición vítrea
	ASTM D638	ASTM D638	ASTM D638	ASTM D790	ASTM D256	ASTM D648	ASTM D3418
	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(J/m) Con entalla Sin entalla	(°C)	(°C)
Polycarbonato	52	2000	3	2137	53.4 267	127	161
Polycarbonato ISO	52	1744	5	2193	53.4 -	127	161
ABS	22	1627	6	1834	- -	96	104
PC-ABS	34.8	1837	4.3	1863	123 326	96	110
Polifenilsulfona	55	2068	3	2206	58.7 -	189	230

**TABLA A7. Propiedades de los materiales FDM de Stratasys (EEUU), propiedades de la pieza**

Equipo		LÁSER				EQUIPO			PIEZA	
		Tipo	Pot.	Frec.	Long. onda	Vel. máx. trazo	Espesor de capa	Dimensiones aprox.	Masa aprox.	Dimensiones máx.
			(mW)	(kHz)	(nm)	(m/s)	(mm)	(m)	(kg)	(cm)
SCS <sup>®</sup>	1000HD	He-Cd	-	-	-	2	0.02-0.15	1.5x1.1x1.6	710	30x30x27
	8000	Semiconductor estado sólido	200	25	-	7.5	0.05-0.2	1.5x1.1x1.6	710	30x30x25
	8100	Semiconductor estado sólido	1000	60	-	10	0.1-0.2	1.9x1.2x2	1700	61x61x50
	8100D	Semiconductor estado sólido	1000	60	-	10	0.1-0.2	1.9x1.2x2	1750	61x61x50
	9000	Semiconductor estado sólido	800	60	-	20	0.1-0.4	2.4x1.7x2.8	2920	100x80x50
	Acculas	LD	-	-	405	-	0.005-0.01	1x1x1.7	600	15x15x5
SLA <sup>®</sup>	5000	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	216	-	355	5	0.05-0.1	1.9x1.2x2	1500	50x50x59
	7000	Estado sólido triple frecuencia	800	-	355	9.5	0.025-0.125	1.9x1.2x2	1550	50x50x60
	viper	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	100	-	355	-	0.02-0.1	1.4x0.8x1.8	470	25x25x25
	viper HA	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	100	-	355	-	0.05-0.1	1.4x0.9x1.8	565	25x25x50
	viperPro	Estado sólido triple frecuencia Nd:YVO <sub>4</sub>	2000	-	355	25	0.05-0.15	2.2x1.6x2.2	2400	150x75x50
F3S <sup>®</sup>	Realizer	Semiconductor estado sólido	150	-	355	-	-	0.8x0.8x2.2	-	50x40x30

<sup>®</sup> Sony / D-MEC (Japón), <sup>®</sup> 3DSsystems (EEUU), <sup>®</sup> Fockele & Schwarze (Alemania)

**Tabla A8: Propiedades de los materiales FDM de Stratasys (EEUU)**



## Anexo B.

### Equipos LM (CARACTERÍSTICAS GENERALES)

Equipo		LÁSER				EQUIPO				PIEZA
		Tipo	Pot.	Frec.	Long. onda	Vel. máx. trazo	Espesor de capa	Dimensiones aprox.	Masa aprox.	Dimensiones máx.
			(mW)	(kHz)	(nm)	(m/s)	(mm)	(m)	(kg)	(cm)
SCS <sup>®</sup>	1000HD	He-Cd	-	-	-	2	0.02-0.15	1.5x1.1x1.6	710	30x30x27
	8000	Semiconductor estado sólido	200	25	-	7.5	0.05-0.2	1.5x1.1x1.6	710	30x30x25
	8100	Semiconductor estado sólido	1000	60	-	10	0.1-0.2	1.9x1.2x2	1700	61x61x50
	8100D	Semiconductor estado sólido	1000	60	-	10	0.1-0.2	1.9x1.2x2	1750	61x61x50
	9000	Semiconductor estado sólido	800	60	-	20	0.1-0.4	2.4x1.7x2.8	2920	100x80x50
	Acculias	LD	-	-	405	-	0.005-0.01	1x1x1.7	600	15x15x5
SMA <sup>®</sup>	5000	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	216	-	355	5	0.05-0.1	1.9x1.2x2	1500	50x50x59
	7000	Estado sólido triple frecuencia	800	-	355	9.5	0.025-0.125	1.9x1.2x2	1550	50x50x60
	viper	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	100	-	355	-	0.02-0.1	1.4x0.8x1.8	470	25x25x25
	viper HA	Estado sólido Nd:YVO <sub>4</sub>	100	-	355	-	0.05-0.1	1.4x0.9x1.8	565	25x25x50
	viperPro	Estado sólido triple frecuencia Nd:YVO <sub>4</sub>	2000	-	355	25	0.05-0.15	2.2x1.6x2.2	2400	150x75x50
FS <sup>®</sup>	Realizer	Semiconductor estado sólido	150	-	355	-	-	0.8x0.8x2.2	-	50x40x30

<sup>®</sup> Sony / D-MEC (Japón), <sup>®</sup> 3DSsystems (EEUU), <sup>®</sup> Fockele & Schwarze (Alemania)

TABLA B1. Características de los principales equipos de las principales compañías.



Empresa	Equipo		LÁSER		EQUIPO			PIEZA
			Tipo	Pot.	Vel. máx. trazo	Espesor de capa	Espacio de instalación recomendado	Dimensiones máx.
				(W)	(m/s)	(mm)	(m)	(cm)
EOS <sup>(6)</sup>	EOSINT <sup>®</sup>	P385	CO <sub>2</sub>	50	5	0.1-0.15	4.3x3.9x3	34x34x62
		P700	CO <sub>2</sub>	2x50	5	0.1-0.15	4.8x4.8x3	70x38x58
		S750	CO <sub>2</sub>	2x100	3	0.2	4.5x4.6x2.7	72x38x38
		M270	Fibra Yb	200	7	0.02-0.1	3.5x3.6x2.5	25x25x21.5
3DSYSTEMS	Sinterstation <sup>®</sup>	Pro140	CO <sub>2</sub>	70	10	0.1-0.15	-	55x55x46
		Pro230	CO <sub>2</sub>	70	10	0.1-0.15	-	55x55x75
		HIQ	CO <sub>2</sub>	30	5	-	-	38x33x46
		HIQ+HS	CO <sub>2</sub>	50	10	-	-	38x33x46

Tabla B2: Características de los principales equipos de SLS de EOS y 3DSYSTEMS

Empresa	Equipo	LÁSER		EQUIPO							PIEZA
				Sistema óptico	Sistema elevador	Sistema alimentador			Peso	Espacio requerido	
		Tipo	Pot.	Vel. trazo	Presc.	Temp. del alimentador	Presión	Espesor hoja admisible			
			(W)	(m/s)	(mm)	(°C)	(kg)	(mm)	(kg)	(m)	Dimensiones máx.
Helisys	1015 Plus	CO <sub>2</sub>	25	0.46	0.05	66-343	18	0.08-0.25	454	3.7x3.7	38x25x36
	2030 H	CO <sub>2</sub>	50	0.46	0.05	66-399	18	0.08-0.25	1429	4.9x3.7	81x56x51
Kira Corp.	Katana	-	-	-	-	-	-	0.1-0.15	320	-	28x18x15
	PLT A3	-	-	-	-	-	-	0.1-0.15	550	-	40x28x30
	PLT A4	-	-	-	-	-	-	0.1-0.15	450	-	28x19x20

Tabla B3: Características de los principales equipos de LOM de Helisys / Cubil Technologies (EEUU) y Kira Corp. (Japón)



Equipo	EQUIPO			PIEZA
	Espesor de capa	Masa	Dim. máx.	Dim. máx.
	(m/s)	(kg)	(m)	(cm)
Prodigy	0.178 0.245 0.330	128	0.7x0.9x1.0	20x20x30
Vantage i, X, S	0.127 0.178 0.245	726	1.3x0.9x1.9	35x25x25
Vantage SE	0.127 0.178 0.245	726	1.3x0.9x1.9	40x35x40
Titan	0.127 0.178 0.254	726	1.3x0.9x2.0	40x35x40
Maxum	0.127 0.178 0.254	1134	2.2x1.1x2.0	60x50x60

**TABLA B4. Características de los principales equipos de FDM de Stratasys (EEUU).**